

# **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE RIEGO POR GOTEO AUTOCOMPENSADO PARA LA PRODUCCIÓN DE ÁRBOLES ORNAMENTALES Y NATIVOS EN EL VIVERO FORESTAL DE LA U.EIA.**

**JUAN ALEJANDRO DUQUE CORREA  
JOSE MANUEL VILLEGAS SANTAMARÍA**

**Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecatrónico**

**Director:**

**Sebastián Jiménez Gómez M. Sc**



**UNIVERSIDAD EIA  
INGENIERÍA MECATRÓNICA  
ENVIGADO 2018**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

# CONTENIDO

	pág.
1. PRELIMINARES .....	12
1.1 Planteamiento del problema .....	12
1.2 Objetivos del proyecto .....	15
1.2.1 Objetivo General.....	15
1.2.2 Objetivos Específicos .....	15
1.3 Marco de referencia.....	16
1.3.1 Antecedentes .....	16
1.3.2 Marco Teórico .....	21
2. METODOLOGÍA.....	36
2.1 Diseño y selección.....	38
2.1.1 Lista de necesidades.....	38
2.1.2 Matriz morfológica .....	39
2.2 Módulo edafológico .....	46
2.2.1 Balance hídrico climático .....	47
2.2.2 Evapotranspiración (Et) .....	47
2.2.3 Evapotranspiración de referencia .....	48
2.3 Módulo de comunicación .....	50
2.3.1 Adquisición de datos .....	52
2.3.2 Plataforma web.....	71
2.3.3 Plataforma móvil.....	76
2.4 Modulo hidráulico .....	79

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

2.4.1	Sistema de Riego por Goteo.....	80
2.4.2	Consideraciones hidráulicas: .....	82
2.4.3	Dimensionamiento de la tubería: .....	83
2.4.4	Perdidas de cargas en la línea: .....	84
2.5	Construcción y ensamble .....	85
3.	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	92
4.	CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES .....	95
5.	REFERENCIAS .....	96
6.	ANEXOS .....	100
6.1	Código de Python para lectura de datos e implementación del riego.....	100
	.....	104
6.2	Código de esclavo uno Arduino .....	105
6.3	Código esclavo2 Arduino .....	108
6.4	Procedimiento “scraping” para captura de radiación .....	109
6.5	Hoja de datos de sensor de flujo.....	111
6.6	DIAGRAMAS ARQUITECTURA DE HARDWARE Y CONEXIONE .....	112
	.....	113
6.7	ilustración general del proyecto:lenguajes, frameworks y comunicaciones .....	114

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1 Equilibrio hídrico.....	12
Ecuación 2 Coeficiente de cultivo. ....	22
Ecuación 3 Evapotranspiración con coeficiente de estrés hídrico. ....	23
Ecuación 4 Agua en la zona reticular.....	23
Ecuación 5 índice de calor mensual.....	25
Ecuación 6 Calor anual.....	25
Ecuación 7 ETP sin corregir un mes. ....	25
Ecuación 8 ETP sin corregir días y horas de sol variables. ....	25
Ecuación 9 Evapotranspiración de referencia según Penman-Monteith.....	25
Ecuación 10 Número de Reynolds.....	30
Ecuación 11 Flujo a través de un emisor. ....	31
Ecuación 12 ecuación para encontrar la evapotranspiración referencia con corrección del factor del cultivo.....	47
Ecuación 13 Evapotranspiración de referencia. ....	48
Ecuación 14 Se asume la densidad del flujo de calor del suelo igual a cero. ....	48
Ecuación 15 presión de saturación de vapor. ....	49
Ecuación 16 Presión real de vapor. ....	49
Ecuación 17 Constante psicométrica. ....	49
Ecuación 18 Pendiente de la curva de saturación de vapor.....	49
Ecuación 19 Lamina de riego.....	50
Ecuación 20 Volumen de riego. ....	50
Ecuación 21 Área de cultivo. ....	50

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Ecuación 22 Ecuación de cálculo de volumen. ....	63
Ecuación 23 Caracterización de los goteros. ....	81
Ecuación 24 Solape entre radios de humedad.....	83
Ecuación 25 Caudal de la tubería. ....	83
Ecuación 26 Diámetro e la tubería. ....	83
Ecuación 27 Perdida de carga por fricción.....	84
Ecuación 28 Perdida de carga por accesorios. ....	85
Ecuación 29 Porcentaje de ahorro de agua. ....	94

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Diagrama de bloques del sistema de riego por goteo automatizado (Concha, 2009). .....	17
Ilustración 2 Distribución del agua en bulbo mojado por un gotero a) suelo de textura media b) textura arenosa. (Santos Pereira et al., 2010).....	28
Ilustración 3 conexión básica de protocolo de comunicación i2c (NXP Semiconductors, 2014). .....	29
Ilustración 4 Trama de iniciación, dirección y acción de maestro esclavo (Carletti, 2017).. .....	29
Ilustración 5 Gotero de recorrido largo (Bowsmith,2003). .....	31
Ilustración 6 Micro aspersor de vórtice (Santos Pereira et al., 2010) (Plastro, 2003). .....	32
Ilustración 7 Gotero autocompenasante (Santos Pereira et al., 2010) (Bowsmith, 2003). .....	32
Ilustración 8 Riego localizado por partes, (TTape, 2003). .....	33
Ilustración 9 Esquema del filtro de malla (Santos Pereira et al., 2010) (Toro, 2003). .....	34
Ilustración 10 Filtro de disco (Heliflex, 2003).....	35
Ilustración 11 Diagrama de requerimientos generales. ....	37
Ilustración 12 Esquemático de metodología para cálculo de volumen de referencia.....	47
Ilustración 13 Diagrama de bloques general del proyecto.....	52
Ilustración 14 Estación meteorológica SEN0186.....	53
Ilustración 15 Sensor de presión atmosférica(ADAFRUIT, 2016).....	54
Ilustración 16 Sensor de humedad relativa y temperatura DHT22. ....	55
Ilustración 17 Sensor de flujo YF-S201.....	55
Ilustración 18 Esquema general del circuito.....	57
Ilustración 19 Formato caracteres de salida Weather Station Board. ....	58

Ilustración 20 Arquitectura de hardware Weather Station Board con conexiones a los demás elementos del circuito. ....	59
Ilustración 21 Arquitectura de hardware Esclavo 1 con conexiones a los demás elementos del circuito. ....	60
Ilustración 22 Diagrama de flujo código 'Esclavo 1'. ....	61
Ilustración 23 Arquitectura de hardware sensor de flujo con conexiones a los demás elementos del circuito. ....	62
Ilustración 24 Arquitectura de hardware 'Esclavo2' con conexión a los demás elementos del circuito. ....	63
Ilustración 25 Diagrama de flujo código de 'esclavo 2' .....	64
Ilustración 26 Diagrama de bloques sistema de control On/Off.....	66
Ilustración 27 Diagrama de flujo código de dispositivo Maestro RaspberryPi3.....	67
Ilustración 28 Conexiones de la Raspberry Pi con los demás dispositivos del circuito. ....	68
Ilustración 29 Fuente conmutada.....	68
Ilustración 30 Tarjeta con optoacoplador y relé.....	69
Ilustración 31 Electroválvula solenoide. ....	70
Ilustración 32 Arquitectura de hardware optoacoplador con conexión a válvula y Raspberry Pi. ....	71
Ilustración 33 Conexión eléctrica electroválvula activada por optoacoplador y relé.....	71
Ilustración 34 Antes y después de evapotranspiración y requerimiento hídrico.....	74
Ilustración 35 inicio(index) del sitio web. ....	74
Ilustración 36 Eventos .....	75
Ilustración 37 Variables del vivero en sitio web.....	75
Ilustración 38 señal en vivo del vivero en sitio web. ....	76
Ilustración 39 splash screen.....	77
Ilustración 40 Login app móvil.....	77

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Ilustración 41 Registro de eventos.....	77
Ilustración 42 menú de registro de eventos.....	77
Ilustración 43 Visualización de registros. ....	78
Ilustración 44 Visualización de carácter informativo app. ....	78
Ilustración 45 Video tiempo real.....	78
Ilustración 46 Visualización de variables de vivero. ....	78
Ilustración 47 Caudal vs presión del gotero. ....	81
Ilustración 48 Vista superior de distribución propuesta para sistema de riego en cama cultivos. ....	82
Ilustración 50 diseño en Solid Edge ST9. ....	86
Ilustración 50 Diseño en Solid Word. ....	86
Ilustración 51 Instalación de estructura.....	87
Ilustración 52 Proceso de ensamble. ....	87
Ilustración 53 Instalación de cama cultivo.....	88
Ilustración 54 Cama cultivo con sustrato.....	88
Ilustración 55 Instalación de cobertura.....	88
Ilustración 56 siembra de las plantas. ....	89
Ilustración 57 Vivero en pruebas.....	89
Ilustración 58 Estación meteorológica.....	89
Ilustración 60 Módulo de estación meteorológica.....	90
Ilustración 59 Desarrollo de pruebas.....	90
Ilustración 61 Vista en detalle de la ubicación de los emisores respecto a la planta. ....	91
Ilustración 62 Distribución de componentes.....	91
Ilustración 63 Comparativo de gasto hídrico litros/día. ....	94

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 lecturas e interpretación de vacuómetro para suelo arenoso (Concha, 2009). ....	17
Tabla 2 Acción de la válvula en función al rango de presión en relación con la ilustración 1 (Concha, 2009). ....	18
Tabla 3 valores de contenidos de humedad en saturación, capacidad del campo, marchitez permanente y agua disponible (Santos Pereira et al., 2010). ....	24
Tabla 4 modelo de Penman–Monteith (Castro Popoca et al., 2008). ....	26
Tabla 5 Caracterización del número de Reynolds de acuerdo con sus valores (Santos Pereira et al., 2010). ....	31
Tabla 6 Necesidades diseño y selección. ....	38
Tabla 7 Matriz morfológica módulo de comunicación. ....	39
Tabla 8 Matriz morfológica módulo edafológico. ....	43
Tabla 9 Especificaciones anemómetro. ....	53
Tabla 10 Especificaciones veleta. ....	54
Tabla 11 Especificaciones sensor de presión atmosférica. ....	54
Tabla 12 Especificaciones DHT22. ....	55
Tabla 13 Especificaciones YF-S201. ....	56
Tabla 14 Especificaciones fuente conmutada. ....	69
Tabla 15 Especificaciones tarjeta con optoacoplador y relé. ....	70
Tabla 16 Especificaciones válvula solenoide. ....	70
Tabla 17 Elección del sistema de riego (CIRAD, 2002). ....	79
Tabla 18 Perdida por accesorios. ....	85
Tabla 19 Muestra de resultados, comparando antes y después. ....	93

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

## **RESUMEN**

La producción de árboles ornamentales y nativos es el primer paso al proceso de repoblación forestal, por lo cual se convierte en dinámicas de gran importancia que actualmente presentan fallas, lo cual afecta el ciclo reproductivo y normal desarrollo de estas especies, vitales para temas importantes como: la regulación hídrica y micro climática, mitigación de contaminación química y auditiva, conservación y restauración de cuencas, entre otros. Por lo cual surge la necesidad de mejorar la reproducción en serie de estas especies en ambientes controlados, proporcionando las condiciones hídricas requeridas, lo que se traducirá en disminución de la tasa de mortandad y en ahorro del recurso hídrico.

Finalmente, con este proyecto se espera obtener un sistema de riego por goteo autocompensado y automático para la reproducción y venta de árboles nativos y ornamentales en el vivero de la Universidad EIA, que cumpla con las necesidades requeridas por las plantas y mejore la capacidad de producción de este.

## **ABSTRACT**

Production of both ornamental and native trees is the first step to the process of reforestation, which turns them into dynamics of great importance that currently contain process errors, such errors affect the reproductive cycle and normal development of these species, vital for important environmental issues such as: Water regulation and microclimate, mitigation of both chemical and auditory pollution, conservation and restoration of watersheds, among others. Therefore, there is an identifiable need to improve the serial reproduction of these species in controlled environments, providing the required water conditions, which will result in a reduction in the mortality rate and savings in water resources.

Finally, it is expected to obtain with this project a self-compensating and automatic drip irrigation system for the reproduction and sale of native and ornamental trees in the plant nursery of the EIA University, so it meets the needs required by the plants and improves its production capacity.

# 1. PRELIMINARES

## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los viveros forestales constituyen el primer paso al proceso de repoblación forestal, son sitios en donde se producen plantas forestales y se les proporciona los cuidados y condiciones requeridas, manipulando cada una de las variables involucradas en los periodos germinativo y vegetativo, desde el tratamiento de la semilla y el suelo, hasta la individualización de cada plántula comprendiendo riegos, control de plagas, enfermedades, fertilización, limpias, podas y selección hasta alcanzar una etapa de crecimiento determinada para ser trasladada a su terreno definitivo de plantación (Periz, 2002).

Los viveros forestales se clasifican principalmente en dos tipos, viveros permanentes y viveros temporales, esto es debido principalmente al tiempo de permanencia de la planta.

- Viveros permanentes: son de infraestructura más robusta y formal ya que la producción de plantas es grande y constante.
- Viveros temporales: tienen infraestructuras simples, como su nombre lo indica son provisionales y están ubicados en el terreno donde se realizará la plantación final de las especies.

La finalidad de los viveros forestales es variable dependiendo de sus especificaciones y labores realizadas dentro de él, existen algunos basados en la intención de la producción tales como comerciales, de investigación, producción específica y de interés social, en ellos se pueden reproducir algunos tipos de especies como lo data la resolución 002457 de julio del 2010 expedida por el ICA. En esta normatividad se encuentran las variables y definiciones más importantes para la siembra y comercialización de especies forestales, específicamente en el Artículo 3 apartado 35 se encuentra una de las variables más relevantes en dicho proceso como lo es el Sistema de riego definido como “sistema planificado y diseñado que suministra agua en cantidad y calidad suficiente para garantizar el óptimo crecimiento y desarrollo del material vegetal”(ICA,2010) .

El agua es de vital importancia para las plantas, plántulas y semillas debido a que en sus células porta un 90% de ella sin embargo pueden sobrevivir al agotamiento hasta con un 40% de su contenido, siendo materia prima de la fotosíntesis y vehículo de absorción de nutrientes por medio del suelo para el equilibrio en variables importantes a la hora de su crecimiento como el equilibrio hídrico.

$$W_B = A - T$$

*Ecuación 1 Equilibrio hídrico.*

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Dónde  $W_B$  : Equilibrio hídrico

T: Agua Transpirada por la planta

A: agua absorbida por la planta

Valor que indica la capacidad que tiene la planta de transpirar con libertad determinando la marchitez temporal si su valor es negativo, siendo el indicador que más influye en su estructura, muy por encima de cualquier otro factor aislado del ambiente, la humedad del suelo también es determinante para el crecimiento de la planta, ella comprende un concepto llamado capacidad del campo que se define como la cantidad de agua del suelo remanente después de drenarse el agua gravitacional, es decir capacidad de almacenamiento del suelo cuyo valor es fundamental para calcular la cantidad de agua que se le debe suministrar al suelo (Vickery, 1991).

Los riegos impactan directamente con la calidad del cultivo, la producción y la minimización de recursos por lo tanto se debe asegurar la uniformidad de distribución y eficiencia de la aplicación (Santos Pereira, De Juan Valero, Picornell Buendía, & Tarjuelo Martín. Benito, 2010) se clasifican en :

Tipos de riego:

- **Riego por Gravedad:**

1. **Con Mangas:** con mangas plásticas se conduce el agua de un punto a otro permitiendo el riego por sus perforaciones
2. **Multicompuertas:** Distribución de agua dentro de un predio por medio de tuberías livianas de fácil transporte.
3. **Impulsos:** aplicación de agua en intervalos de tiempos cortos pero frecuentes.

- **Riego a presión:**

1. **Aspersión:** Simulación de lluvia controlando tanto el tiempo como la intensidad.
2. **Microaspersión:** Aplica el agua en forma de lluvia, fina y suave. considerada también como riego localizado.
3. **Goteo:** El agua es dirigida directamente a la zona radicular del cultivo en forma de gotas de manera localizada.
4. **Exudación:** sistema localizado que aplica agua de forma continua mediante un tubo poroso que exuda agua por toda su extensión.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

En el campus de la Universidad EIA actualmente se cuenta con un vivero forestal de investigación, destinado para la siembra de especies nativas y ornamentales, coordinado por el área de ingeniería ambiental y demás estudiantes que requieran su uso; los procesos de siembra y crecimiento de las plantas se están viendo afectados por situaciones que limitan su óptimo funcionamiento y desarrollo con falencias en la inadecuada utilización del recurso hídrico, distribución de espacios y el monitoreo continuo por parte del personal a cargo, evidenciado un aumento en la pérdida de especies por las condiciones a las que están sometidas, teniendo en cuenta la variabilidad de temperatura y humedad a las que está expuesta el lugar.

Se pretende dar solución a la problemática anteriormente descrita por medio de la implementación de un sistema de riego por goteo automático que suministre la cantidad de agua óptima, de acuerdo con la necesidad real de la planta teniendo en cuenta la variabilidad del ambiente. Por medio de esta solución se puede proyectar a largo plazo la creación de vivero tanto de investigación como de producción específica para el cultivo y venta de especies nativas y árboles ornamentales.

## **1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **1.2.1 Objetivo General**

Desarrollar un sistema de riego por goteo auto compensado en una cama-cultivo de árboles ornamentales y nativos, ubicado en el vivero de la Universidad EIA, que monitoree las variables involucradas en el proceso de crecimiento de estas plantas y suministre el recurso hídrico requerido.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Identificar las variables que influyen en el crecimiento de las plantas nativas y ornamentales haciendo uso de la caracterización del entorno en el cual se desarrollan.

Diseñar un sistema de riego automático por goteo autocompensado que controle la temperatura y humedad del suelo en el proceso de crecimiento de los arboles ornamentales y nativos.

Construir un sistema de riego por goteo autocompensado en una cama-cultivo ubicado en el vivero forestal de la Universidad EIA.

Verificar que el sistema de goteo cumple con los criterios de diseño identificados.

### 1.3 MARCO DE REFERENCIA

Se dará una contextualización global y regional de las soluciones encontradas para lograr suplir la necesidad tecnológica del agro, que tecnología se está usando actualmente y cuales han presentado mejores prestaciones, se exponen experiencias y procedimientos que logran de una u otra manera mejora la producción, además de generar ahorros en recursos hídricos. Por otra parte, se mostrarán definiciones de conceptos relevantes que serán de ayuda para comprender el desarrollo metodológico.

#### 1.3.1 Antecedentes

La producción agraria a nivel global tiene importantes misiones básicas entre las que se encuentra la promoción del desarrollo económico-social en donde se busca que esta actividad sea cada vez más competitiva en un mercado mundial globalizado siendo la tecnología, actor fundamental que permita reducir impactos ambientales, conservación de recursos naturales contribuyendo al desarrollo sostenible con equidad. El riego es un componente esencial del desarrollo agrario debido a que la escasez de agua es una limitación importante para el sector agrícola y cada vez su uso en diferentes labores aumenta su demanda, haciendo que se reduzca la disponibilidad de ella para la agricultura, en este sentido es esencial la incorporación y aprovechamiento de tecnologías y conceptos de ingeniería que permitan el fomento y conciencia del ahorro de recurso hídrico (Santos Pereira et al., 2010).

La dificultad del continuo suministro del recurso hídrico hace que se deban idear maneras de racionar y minimizar el uso del agua sin generar exceso ni falta de ella. Es el caso de los viñedos de pampa de ñoco distrito de Grocio Prado, provincia de Chincha en el departamento de Ica (Perú) en donde se implementó en un cultivo prueba de 100 metros un sistema de riego por goteo controlado y automatizado por medio de un microcontrolador que básicamente recibe una señal acondicionada tomada por el sensor de presión y la transforma en una señal de salida enviada al actuador (válvula proporcional) que limita el flujo del agua ( variable manipulada) que va directo al campo o cultivo en donde el usuario puede monitorear el proceso mediante interfaz gráfica haciendo puente entre microcontrolador y software de monitoreo por comunicación RS 232.

El sensor de presión es la herramienta por la cual se mide la variable de proceso (humedad del suelo) mediante señales eléctricas variando una galga extensiométrica adaptando esta de 4 a 20 mA mediante un integrado de instrumentación INA121 en modo diferencial pasando por un conversor Análogo-Digital (A/D) para luego utilizar un algoritmo de control basado en sentencias condicionales usando el controlador Atmega8L en donde la condición de *set-point* son proporcionadas por la salida del conversor A/D. La señal de salida del controlador pasa por un conversor Digital-Análogo (D/A) que va dirigida a la válvula de control proporcional *Danfoss* EV260B, gráficamente sería así:

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



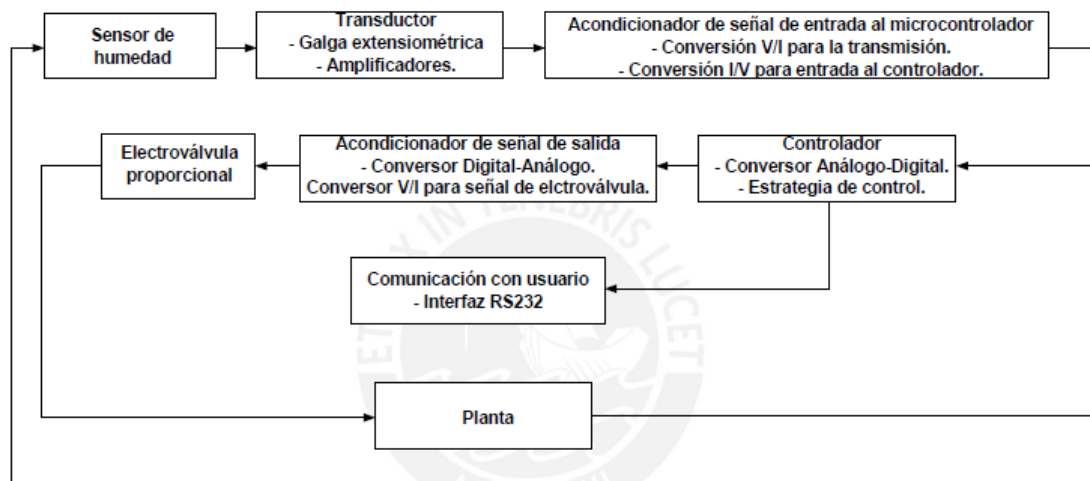


Ilustración 1 Diagrama de bloques del sistema de riego por goteo automatizado (Concha, 2009).

Para la medición de presión se usó un tensiómetro que mide presiones de vacío que genera el esfuerzo de la raíz de la planta para extraer moléculas de agua del suelo esta señal es convertida en eléctrica mediante un puente *wheatstone* (cuyo componente principal es una galga extensiométrica). El sensor está compuesto de tubo del cuerpo, capa cerámica, tapón y vacuometro, este último es quien registra dicha variación y entrega las unidades en KPa entre 0 y -100KPa la interpretación de esta lectura está dividida por 6 grupos:

Tabla 1 lecturas e interpretación de vacuómetro para suelo arenoso (Concha, 2009).

MEDIDA	CARACTERÍSTICA
<b>0 – 10KPA</b>	Exceso de agua para el crecimiento de cualquier planta.
<b>10 – 20 KPA</b>	Buenas condiciones de humedad, pero en el límite de agua en exceso.
<b>20- 40 KPA</b>	Buena humedad y aeración para el crecimiento de plantas.
<b>40 – 60 KPA</b>	Suelo demasiado seco, requiere riego inmediato.
<b>60 – 80 KPA</b>	Poca humedad, la planta sufrirá daños se requiere riego inmediato.
<b>80-100 KPA</b>	Suelo seco, requiere riego.

La salida del controlador *Atmega8L* es convertida a corriente en rango de 4 a 20 mA y enviada a la válvula de control (Elemento final de control) que abre y cierra proporcionalmente según sea requerido para mantener el nivel deseado de la variable de proceso (Humedad del suelo) mediante la variable de control manipulada (flujo de agua) (Concha, 2009), mediante esta tabla:

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Tabla 2 Acción de la válvula en función al rango de presión en relación con la ilustración 1 (Concha, 2009).

RANGO DE LA VARIABLE DE PROCESO (PRESIÓN) EN KPA	DECISIÓN QUE TOMA EL ATMEGA8L
<b>80 A 100</b>	Abrir válvula 100%
<b>60 A 80</b>	Abrir válvula 60%
<b>40 A 60</b>	Abrir válvula 40%
<b>20 A 40</b>	Abrir válvula 20%
<b>0 A 20</b>	Cerrar válvula

La validación del funcionamiento del sistema se llevó a cabo por métodos experimentales como: Regulador de presión *Norgren* para simular variaciones de presión y diferentes rangos para obtener la relación entre la presión de entrada y variación de resistencia en las múltiples galgas utilizadas puesta en diferentes espesores de soporte dando como resultado una variación lineal y con amplio rango de control. Otras pruebas de funcionamiento se llevaron a cabo en las ampliaciones de señales y conversiones A/D y D/A con potenciómetros para variar la ganancia y obtener características propias de su funcionamiento. En relación con la parte hidráulica el sistema por goteo utiliza mangueras de polietileno con goteros ubicados en cada tallo de vid de carácter no autocompensado HYDROGOL con caudal de 1 a 3 L/h y mangueras de 16-18-20 mm que cubre la necesidad del cultivo obteniendo los resultados esperados al final de la implementación del proyecto logrando obtener la medición de variable (humedad) en prueba de laboratorio, logrando convertir señales de presión de vacío en señales eléctricas (puente de Wheatstone) además del acondicionamiento de ella con amplificador diferencial obteniendo valores deseados de voltaje de 0 a 5. Logrando el desarrollo del control en lenguaje ensamblador e implementación en microcontrolador Atmega8L y el desarrollo de software de supervisión de variables en *LabVIEW 8.0*(Concha, 2009).

Los sistemas de riego son importantes por el incremento de la productividad, la reducción del coste de operaciones principalmente de agua usando tecnologías apropiadas. Entre las practicas modernas y eficientes se encuentra la agricultura de precisión en donde el uso de redes móviles y sistemas de información brindan al usuario una buena experiencia con los procesos realizados basando sus principios en el aumento de cobertura generando una serie importante de beneficios y formas de abordar la lectura y control de variables que serán descritas en las investigaciones analizadas a continuación:

En el medio local y contexto colombiano se han desarrollado sistemas de riegos para uno de los cultivos más frecuentes en nuestras latitudes como lo son las flores, en el 2005 en la universidad javeriana sede Bogotá se adelantó una investigación e implementación de la automatización de riego para el cultivo de flores tipo exportación que cuenta con dos módulos independientes que realizan la tarea de la automatización, el primero denominado control cuenta con el microcontrolador PIC18F452 y sensórica que permite la lectura de

datos y toma de decisiones (accionamiento ON/OFF de válvulas), el segundo se denomina estación remota en donde reside el software para la supervisión del estado de actuadores y la variable medida (Humedad de terreno) siendo estos interconectados por medio inalámbrico utilizando el módulo TRF 24G que mantiene la información actualizada cada 0.83 segundos(Agudelo, Castellanos, & Medina, 2005).

También en Colombia la región de PASTO se buscó reemplazar técnicas tradicionales de riego y fertirriego basadas en la disponibilidad de un operario por el suministro de una dosis adecuada de agua para potencializar el desarrollo de un cultivo de fresa en invernadero y la disminución de pérdidas de especies por marchitez o exceso de recursos de producción, mediante la implementación de un sistema de riego adecuado y suministro de nutrientes.(Aux Moreno & Benavides Lasso, 2015).

La implementación de dicha solución se basó en un sistema electrónico dividido en dos partes: Software y Hardware, en el primero se encontró una plataforma basada en LabVIEW de interacción con el usuario a través de la visualización de los datos suministrados por el Software, compuesto por un arreglo de sensores y actuadores como: tensiómetro electrónico IRROMETER y sensor de temperatura LM35, interconectados por el microcontrolador PIC 16F73 para la adquisición de datos, la toma de decisiones basado en la lectura de humedad del suelo y temperatura interior del invernadero y el accionamiento de motobombas y electroválvulas AC distribuidas en el cultivo. Esta implementación en vivero concluyó con resultados de ahorro en recurso hídrico del 40% y disminución en especies marchitas gracias al control del nivel de pH de la solución suministrada.

En México (Castro Popoca et al., 2008) presentaron el desarrollo de un sistema de riego en tiempo real que determina el momento oportuno y cantidad de riego monitoreado por medio de tecnologías de la información mediante un sistema de control *datalogger* CR10X Campbell *Scientific*. Obteniendo las medidas de maneras distintas en primera instancia por un lisímetro de pesada acoplado a una celda de carga modelo 20210 para determinar en función del cambio de peso a la pérdida de agua en un monolito de suelo, en la segunda el contenido volumétrico del agua en el suelo fue medido con un sensor TRIME TDR IMKO instalado en la zona de raíces del cultivo para medir el contenido volumétrico del agua en el suelo y para la tercera se usó el método del balance hídrico climático con base en la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) (*Penman–Monteith*) permitiendo monitorear las variables a través de internet y dispositivos móviles con el protocolo WAP usando una computadora como servidor central. El controlador se programó con diversos algoritmos que procesan información del suelo y cultivo para accionar el sistema de riego por goteo hasta suplir la necesidad por medio de un sistema de riego por goteo con emisores cada 0.3 m con presión de 1 kg cm<sup>2</sup> con actuadores tipo solenoide electromagnético para apertura y cierre del paso de agua, programado mediante en el software soporte *loggerNet* que colecciona datos del *datalogger* CR10X y los comunica al servidor(Castro Popoca et al., 2008).

## Estrategias de medida comúnmente utilizadas

Lisímetro de pesada: la celda de carga entrega niveles de voltaje leídos por *datalogger* considerando dos valores umbrales para fin (1.22344 mv) e inicio (1.18091 mv) de riego, que corresponden a capacidad de campo (FC) o (23.5% con base a volumen) y 80% de humedad aprovechable (HA) o (21.4% con base a volumen), respectivamente (Castro-Popoca et al., 2008).

TDR: cada 2 minutos se mide el contenido volumétrico del agua en el suelo a una profundidad de 0.16m trabajando dentro de dos valores extremos los cuales corresponden a capacidad de campo (FC) o (23.5% con base a volumen) y al 80% de humedad aprovechable (HA) o (21.4% con base a volumen) respectivamente (Castro-Popoca et al., 2008).

Balance Hídrico Climático: se realiza a partir de datos meteorológicos medidos. Para realizar el cálculo del momento de riego se llevó a cabo 3 etapas:

1. Cálculo de evo transpiración referencia ETo según *Penman-Monteith*: Según datos meteorológicos se calcula la necesidad hídrica.
2. Cálculo de Kc: A partir de curvas generadas para el coeficiente se estima la ETc (Evapotranspiración propia del cultivo).
3. Medición de la precipitación y estimación de precipitación efectiva.

Los resultados obtenidos arrojaron valores positivos en cuanto a productividad con estrategia TDR con 75.96 kg m<sup>-3</sup> (Kg de fruto por m<sup>-3</sup> de agua) con buen desempeño del software desarrollado para la automatización del sistema de riego en tiempo real, aplicando los requerimientos necesarios de lectura oportuna de datos y suministro de agua.

También en México (Camargo García, 2013) propone en su tesis de ingeniería en automatización un sistema de control de riego automático mediante el monitoreo de humedad del suelo vía inalámbrica a través de un módulo Ethernet y modem inalámbrico, independiente del método de irrigación la necesidad a suplir es la lectura de humedad del suelo en la zona radicular de la planta y reponer sus niveles de humedad periódicamente monitoreando el proceso desde una interfaz gráfica diseñada con un servidor web y tarjeta Arduino, el sistema de control se realizó por medio de un PLC Allen Bradley serie 1500 que actúa bajo los parámetros *ON/OFF* activándose cuando el sensor de humedad del suelo EA-10 (4 a 20 mA) conectado a las entradas analógicas llega con el valor mínimo de humedad preestablecido activa la entrada y el PLC manda señal a la bomba para accionarse y enviar agua al sistema de riego hasta que alcance el nivel máximo de humedad. Los valores de humedad máximos y mínimos para el trabajo del sistema de riego se realizaron de forma experimental por medio de dos macetas con igual cantidad de tierra, censando su humedad en condiciones extremas, la mínima fue medida cuando la maceta se mantuvo durante un día bajo el sol y sin riego y la máxima cuando se regó con aspersores y se comparó su valor cuando se introdujo el sensor en agua. La conclusión más importante del trabajo realizado es el ahorro del 50% de agua con la implementación del sistema.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

(Aguila, Sinn, & Kleisinger, 2008) realizaron una publicación relacionada con la Automatización del riego basada en balance hídrico climático y medición de humedad del suelo usando tecnología de información, en este artículo científico se desarrolló un sistema para estimar objetivamente la necesidad hídrica de los cultivos y a su vez realizar el suministro de forma eficiente del recurso, todo esto de manera automática. Se utiliza el método de balance hídrico para conocer las condiciones del suelo, para usar esta metodología es necesario implementar una estación meteorológica In Situ para calcular la evapotranspiración de referencia (*Penman-Monteith*) y en la medición del contenido volumétrico de agua en el suelo con sensores TDR, IMKO. El funcionamiento del sistema consta en la recolección de datos arrojados por los sensores anteriormente mencionados, estos valores son dirigidos a un *datalogger* CR10X en el cual se encuentran los algoritmos que toman esta información junto la del cultivo y la procesan, esta acción retorna un valor el cual por medio de las salidas del *datalogger* decide si regar el cultivo y hasta que cubra la necesidad de las plantas. El sistema completo puede ser monitoreado online a través internet. Con este programa de riego se puede llevar a cabo dos estrategias riego:

1. Balance hídrico climático con modelos del cultivo.
2. Medición del contenido de agua en el suelo con sensores.

Para la prueba del sistema de riego fue instalado en un cultivo de calabazas al aire libre, en esta prueba se analizaron puntos tales como el rendimiento del cultivo, consumo de agua y rendimiento de cada una de las estrategias de riego. Los resultados obtenidos fueron favorables, el sistema funcionó correctamente y que la estrategia de balance "hídrico climático con modelos del cultivo" tuvo menor consumo de agua a mayor rendimiento.

### **1.3.2 Marco Teórico**

A continuación, se definen conceptos teóricos que se utilizarán a lo largo del desarrollo del estudio, que precisan temas ambientales, agrícolas, electrónicos y demás.

## **MODULO EDAFOLOGICO**

A continuación, se nombran los conceptos y variables significativas relacionadas con el cálculo de la necesidad hídrica y el ambiente de propagación en vivero

### **Necesidad de agua en los cultivos**

Las plantas poseen 90% de agua, esta es la encargada de la disolución de componentes químicos para ser absorbidos por las raíces dando lugar a reacciones químicas dentro de la planta. La mayor parte de las plantas recibe el agua por medio del suelo y hojas. (Vickery, 1991)

## Evapotranspiración (ET)

El agua va a la atmosfera a través de la evaporación y transpiración. La evaporación se da en las superficies, estos procesos combinados se denominan evapotranspiración, su tasa depende de la temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y radiación(Ruiz Álvarez, Ramírez, Peña, Capurata, & López, 2012).

## Evapotranspiración Potencial (ETP)

(FAO, 1990) introdujo el concepto como cantidad de agua que se evapora desde el suelo que se desarrolla en óptimas condiciones suponiendo la disponibilidad de agua, es utilizada comúnmente como indicador de humedad y aridez climática.

## Evapotranspiración de Referencia (ETo)

Es la evaporación propia de cada cultivo calculada mediante datos meteorológicos entre ellos: Radiación, temperatura del aire, humedad atmosférica y velocidad del viento. Su importancia radica en la necesidad de la variable para el cálculo de tiempos de riego, su cálculo depende de la periodicidad en la que se vaya a realizar, la FAO ( Organización de la ONU para la alimentación y la agricultura) sugiere el metodo *Penman-Monteith* para cualquier tipo de cálculo de ET.(FAO, 1990)

## Evapotranspiración Actual o efectiva (ETc)

Condiciones reales que se asemejan al comportamiento dinámico del entorno, deben correlacionarse con Eto, de no ser así se debe corregir mediante coeficientes Kc debido a enfermedades, condiciones ambientales y estrés.

## Coeficiente de cultivo (Kc)

El coeficiente de cultivo (Kc), expresa la relación entre la evaporación de un cultivo específico y la evaporación potencial de un cultivo de referencia (Ruiz Álvarez et al., 2012). Dado de la siguiente forma:

$$Kc = \frac{ETc(\frac{mm}{dia})}{ETo(\frac{mm}{dia})}$$

*Ecuación 2 Coeficiente de cultivo.*

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

## Lámina de Riego (LR)

Es la cantidad de agua contenida en un volumen determinado de suelo (comprendiendo las partículas de poros más suelo) es usada para determinar la cantidad de recurso hídrico que debe ser repuesto por la pérdida por evapotranspiración (Carrazón Allocén, 2007) (Sanchez & Vazquez, 2006).

## Estrés Hídrico

Las fuerzas sobre el agua ejercida por el suelo disminuyen su energía potencial y hacen que se dificulte la absorción de esta. Al determinar la energía potencial del agua está por debajo de cierto valor, se dice que el cultivo está estresado. Para este cálculo se debe incorporar otras variables como coeficiente de estrés hídrico  $K_s$ .

$$ET_c = K_s * K_c * ET$$

*Ecuación 3 Evapotranspiración con coeficiente de estrés hídrico.*

$K_c$ =Coeficientes del cultivo

## Agua Disponible total (ADT o TAW)

Capacidad del suelo para retener el agua disponible para las plantas. Después del riego el suelo drena agua hasta alcanzar la capacidad del campo. En caso de la ausencia de agua la zona radicular (sitio de ubicación de raíces) se ve afectada por la disminución de la humedad y por consiguiente aumenta el consumo de agua por el cultivo, lo que produce que el remanente de agua sea retenido por el suelo dificultando la extracción por parte de las plantas (aumento de potencial) hasta que sea nula alcanzando la marchitez permanente. Esta agua disponible en zona radicular se define como:

$$ADT = 1000 * (\theta_{fc} - \theta_{wp}) * Z_r$$

*Ecuación 4 Agua en la zona reticular.*

ADT: total de agua disponible en la zona radicular del suelo [mm],

$\theta_{fc}$ : contenido de humedad a capacidad de campo [m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>],

$\theta_{wp}$ : contenido de humedad en el punto de marchitez permanente [m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>],

$Z_r$  profundidad de las raíces [m].

## Agua fácilmente aprovechable (AFA)

Es la fracción de la ADT que un cultivo puede tomar de la zona radicular sin producir estrés hídrico.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



$AFA = p \cdot ADT$  dónde p: fracción promedio del total de agua disponible en el suelo (ADT) que puede ser agotada de la zona radicular antes de presentarse estrés hídrico (reducción de la ET) [0 - 1].(Allen, 2006)

*Tabla 3 valores de contenidos de humedad en saturación, capacidad del campo, marchitez permanente y agua disponible (Santos Pereira et al., 2010).*

CLASE DE TEXTURAS	CONTENIDO DE HUMEDAD			TAW
	$\theta_{ss}$ (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	$\theta_{pc}$ (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	$\theta_{wf}$ (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	1000( $\theta_{pc}-\theta_{wf}$ ) (mm/m)
ARENOSA	0.32-0.42	0.10-0.15	0.03-0.06	60-70
ARENOSA-FRANCO	0.32-0.47	0.12-0.18	0.04-0.10	70-90
FRANCO-ARENOSO	0.34-0.51	0.17-0.26	0.06-0.13	110-130
FRANCO	0.42-0.51	0.22-0.31	0.09-0.16	130-150
FRANCO-LIMOSO	0.42-0.55	0.23-0.34	0.08-0.15	150-190
LIMOSO	0.42-0.55	0.30-0.32	0.09-0.11	200-200
FRANCO-ARCILLO-LIMOSO	0.40-0.49	0.20-0.30	0.13-0.19	80-120
FRANCO-ARCILLOSO	0.47-0.51	0.28-0.38	0.16-0.22	120-160
FRANCO-LOMO-ARCILLOSO	0.49-0.53	0.32-0.40	0.16-0.23	160-180
ARCILLO-ARENOSO	0.47-0.53	0.28-0.40	0.20-0.30	90-100
ARCILLO-LIMOSO	0.49-0.55	0.38-0.50	0.22-0.36	150-160
ARCILLOSO	0.51-0.58	0.39-0.55	0.30-0.45	100-130

## Equilibrio Hídrico

Es el estado de hidratación mediante un suministro continuo de agua y la transpiración de ella. Se puede relacionar como un medio de conducción de agua del suelo a la atmósfera

## Marchitez temporal y permanente

La marchitez temporal se da cuando el equilibrio hídrico es negativo debido a la energía solar, las estomas de la hoja marchita se cierran para evitar pérdidas de agua, pero también impide el paso de bióxido de carbono interrumpiendo la fotosíntesis retardando el crecimiento. Si el agua disponible no es suficiente y se mantienen los valores de equilibrio hídrico negativos la planta se expone a marchitez permanente muriendo la planta de inmediato.

## Humedad del suelo

El contenido de agua del suelo es variable pero la cantidad de agua máxima capilar de un suelo son determinados por la naturaleza de las partículas del suelo y constantes como capacidad del campo y porcentaje de marchitez permanente.(Gómez Castro, 2009)

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



## Capacidad del campo

Cantidad de agua disponible en el suelo después de que se ha drenado el agua gravitacional, es decir la cantidad de agua que se mantiene como película en el espacio poroso del suelo. Un dato relevante es que mientras la cantidad de agua supere la capacidad del campo la superficie del suelo permanecerá húmeda, es necesario calcularla para saber la cantidad de riego que mojará un suelo hasta la profundidad de sus raíces. (Ambientales & Cap, n.d.)

## Métodos de Cálculo de Evapotranspiración

### Thornthwaite

Denominó ETP (Evapotranspiración Potencial) a la evapotranspiración que se produciría si el suelo tuviese condiciones óptimas de humedad que se compara con ETR o ETo (Evapotranspiración Real) propia de cada caso específico y depende de las necesidades del contexto.

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514} \quad t: \text{temperatura media mensual} \quad i: \text{índice de calor mensual}$$

*Ecuación 5 índice de calor mensual.*

$$I = \sum i \quad I: \text{calor anual}$$

*Ecuación 6 Calor anual.*

$$ETP(\text{sin corregir}) = 16 \left(\frac{10t}{I}\right)^a \quad \text{para 30 días y 12 horas de sol}$$

*Ecuación 7 ETP sin corregir un mes.*

$$a = 674 * 10^{-9} I^3 - 771 * 10^{-7} I^2 + 1792 * 10^{-5} I + 0,49239$$

$$ETP = ETP(\text{sin corregir}) = \left(\frac{N * d}{12 * 30}\right) \quad N: \text{número máximo de horas de sol} \quad d: \text{Días del mes}$$

*Ecuación 8 ETP sin corregir días y horas de sol variables.*

### Método FAO Penman-Monteith

$$ET_0 = \frac{\Delta(R_n - G)}{\lambda(\Delta + \gamma)} + \frac{\gamma M_w(e_s - e_a)}{R\theta\gamma(\Delta + \gamma)}$$

*Ecuación 9 Evapotranspiración de referencia según Penman-Monteith*

ET<sub>0</sub>: evapotranspiración de referencia (mm h<sup>-1</sup>).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Tabla 4 modelo de Penman–Monteith (Castro Popoca et al., 2008).

$ET_0$	EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA	MM H <sup>-1</sup>
$R_n$	Radiación neta	kWm <sup>-2</sup>
$G$	Flujo de calor del suelo	kWm <sup>-2</sup>
$M_w$	Masa molecular del agua	0.018 kg mol <sup>-1</sup>
$R$	Constante del gas ideal	8.13*10 <sup>-3</sup> KJ mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
$\Theta$	Temperatura en grados Kelvin	293 K
$(e_a - e_d)$	Déficit de presión de vapor de aire	KPa
$\lambda$	Calor latente de vaporización del agua	2450 KJ Kg <sup>-1</sup>
$r_v$	Resistencia del área foliar del cultivo	S m <sup>-1</sup>
$\Delta$	Gradiente de saturación de presión de vapor	Pa °C <sup>-1</sup>
$\gamma^*$	Constante Psicométrica	Pa °C

## Producción de plantas en vivero

Es importante conocer métodos y estrategias usados comúnmente en viveros o invernaderos para lograr mejores prestaciones del cultivo, además conceptos morfológicos de las plantas para tener un manejo adecuado de ellas.

## Propagación

El medio de propagación de los árboles y arbustos es la propagación por semilla, sin embargo, los viveristas usan el esqueje, estaca, el acodo, el injerto, la división y aprovechamiento de retoños, es tener en cuenta las etapas e información de las semillas facultad germinativa, porcentaje de germinabilidad y técnicas de siembra.

## Tratamientos pregerminativos

El tratamiento pregerminativos es variado y depende de la especie. Como prácticas comunes de rápida germinabilidad están las inmersiones en agua fría o caliente, ácidos sulfúricos (efecto corrosivo de soluciones acidas) y frotamiento con elementos ásperos y abrasivos.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

## **Envase y sustrato de siembra**

Después de pasar por la selección, clasificación de la semilla y tratamiento pregerminativo se procede a sembrarse en un recipiente (bolsas, bandejas y eras) asegurando distribución uniforme sobre el sustrato y siembra regular que permita el desenvolvimiento de las raíces.

El sustrato debe ser arena fina con riego diario compuesto de materiales específicos que brinden a la mezcla el carácter físico, químico y biológico para el desarrollo óptimo de las plántulas, pero si se siembra en bolsas debe mezclarse con tierra.

## **Siembra**

Se debe considerar variables importantes como:

Profundidad: debe sembrarse a una altura tal que no se vea afectada su posición con el riego y al emerger no gaste mucha energía en el proceso

Densidad de siembra: número de semillas sembradas por una unidad de área (metro cuadrado). A mayor cantidad de semillas por unidad de peso, mayor será la siembra.

## **Trasplante**

Después de determinado tiempo de crecimiento en el germinador es necesario realizar un trasplante a un sitio donde puedan desarrollarse correctamente evitando la alta densidad de siembra, el riego debe ser abundante en las primeras horas del día con exposición directa al sol.

## **Calidad del agua del riego**

El riego se realiza por lo menos una vez por día; a primera hora o al caer la tarde, pero la necesidad real la determina las condiciones climáticas. Es necesario asegurar que el agua penetre 5 a 6 cm para obligar la profundización de las raíces, comúnmente el sistema de riego consiste en humedecer el suelo a plena capacidad de campo.

## **Riego por goteo**

Perteneciente al grupo de riegos localizados que se caracterizan por la aplicación del agua a puntos específicos de la parcela cultivada en donde se desarrollan las raíces de las plantas, exige red de tuberías, ramales y emisores. (Santos Pereira et al., 2010)

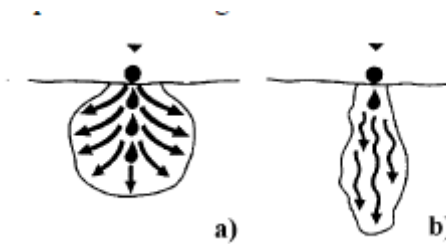
La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

## Capacidades y Adaptabilidad

El consumo bajo de agua es el asunto de más interés en este tipo de riego con respecto a los demás, reduciendo costes en mano de obra ya que no la necesita debido a su regulación y control mediante dispositivos de temporización. El suministro de pequeñas dosis a frecuencia constante es el principal método de funcionamiento manteniendo la zona radicular con los niveles de humedad requeridos.

## Distribución de agua en el perfil del suelo

Los goteros son los dispositivos encargados de el descargo de agua en la superficie, en el sistema por goteo se utiliza bajo caudal generalmente entre 2,4 y 8 Litros por hora (Santos Pereira et al., 2010). Esta agua infiltrada tiende a formar bulbos alrededor de las raíces de la planta, la forma de este depende del tipo del suelo, caudal del gotero y tiempo de irrigación así:



*Ilustración 2 Distribución del agua en bulbo mojado por un gotero a) suelo de textura media b) textura arenosa. (Santos Pereira et al., 2010).*

Las raíces de las plantas tienen un desarrollo importante en bulbos mojados aproximándose al óptimo existiendo actividad radicular máxima brindando baja concentración de sales.(Santos Pereira et al., 2010)

## MÓDULO DE COMUNICACIÓN

Se abordan dos protocolos de comunicación usados para interconectar dispositivos, teniendo un dispositivo designado como maestro y varios, estos protocolos serán de gran ayuda dado que el dispositivo central que se va a usar no tiene entradas analógicas, por esta razón se deberán usar otros dispositivos auxiliares para adquirir información brindada por dispositivos con señales analógicas.

### Bus I2C

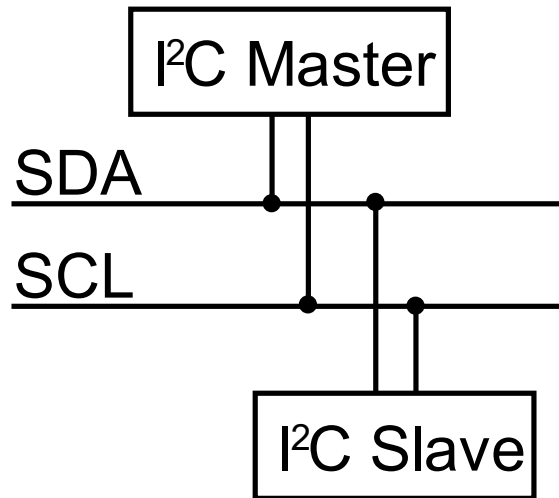
El bus I2C es un estándar de comunicación seriada que simplifica la conexión y envío de datos entre microcontroladores. Fue diseñado a este efecto por Philips y permite el intercambio de información entre muchos dispositivos a una velocidad de unos 100 Kbits por segundo, aunque hay casos especiales en los que el reloj llega hasta los 3,4 MHz.(NXP Semiconductors, 2014)

Su funcionamiento se basa con solo dos líneas de señal:

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

**SCL:** Pulsos de reloj para sincronización

**SDA:** Línea para el movimiento de datos entre dispositivos



*Ilustración 3 conexión básica de protocolo de comunicación i2c (NXP Semiconductors, 2014).*

### Protocolo de Comunicación I2C

Se basa en existencia de dispositivos tipo maestro y esclavos, en donde el primero es el único que puede iniciar la comunicación, poniendo en estado bajo la línea de datos SDA y SCL en alto para dar inicio a la transferencia de datos indicando con el primer bit y posteriormente se pasan 7 bit con la dirección del dispositivo que se desea seleccionar y finalmente un octavo bit con la operación que se realizará (lectura o escritura) Del otro lado del dispositivo solicitado (esclavo) se recibe un bit en bajo de reconocimiento ACK indicando que acepta la solicitud y se encuentra en disposición de comunicarse. (Carletti, 2017).



*Ilustración 4 Trama de iniciación, dirección y acción de maestro esclavo (Carletti, 2017)..*

### Comunicación USB

Arquitectura de comunicación de tipo serial, más rápida que puertos estándares con velocidades de reloj más altas y envío de datos en menor tiempo. Una de las mayores ventajas en el campo de la electrónica radica en que este conector puede proporcionar fuente de alimentación como máximo de 15 voltios. Consta de 4 hilos

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

1. Conexión de tierra GND
2. Hilo 1 de datos D+
3. Hilo 2 de datos D+
4. Alimentación BUS

## Protocolo USB

La comunicación entre el host (equipo) y los dispositivos se lleva a cabo según un protocolo basado en el tipo de red en anillo. Compartiendo el ancho de banda entre todos los dispositivos conectados. El host (equipo) emite una señal para comenzar la secuencia cada un milisegundo (ms), el intervalo de tiempo durante el cual le ofrecerá simultáneamente a cada dispositivo la oportunidad de "hablar". Cuando el host desea comunicarse con un dispositivo, transmite una red (un paquete de datos que contiene la dirección del dispositivo cifrada en 7 bits) que designa un dispositivo, de manera tal que es el *host* que decide "hablar" con los dispositivos. Si el dispositivo reconoce su dirección en la red, envía un paquete de datos (entre 8 y 255 bytes) como respuesta. De lo contrario, les pasa el paquete a los otros dispositivos conectados. Los datos que se intercambian de esta manera están cifrados conforme a la codificación NRZI (CCM, 2018).

## MÓDULO HIDRÁULICO

En este capítulo se definirán todos los conceptos base relacionados con el sistema de riego.

### Emisores

Dispositivos usados en el riego localizado para liberar pequeños caudales de modo constante principalmente usando los goteros de acuerdo con sus características hidráulicas:

Número de Reynolds  $Re$  relacionado con el flujo de agua que atraviesa el emisor

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad V: \text{velocidad media}; D: \text{diametro}; \nu = \text{viscosidad cinemática}$$

*Ecuación 10 Número de Reynolds.*

Rangos de  $Re$

Tabla 5 Caracterización del número de Reynolds de acuerdo con sus valores (Santos Pereira et al., 2010).

DENOMINACION	VALORES
LAMINARES	Re < 2000
TRANSICIÓN	2000 < Re =<4000
PARCIALMENTE TURBULENTOS	4000 < Re =<10000
TURBULENTOS	Re > 10000

El flujo a través de un emisor con orificio es turbulento y se calcula así:

$$q = 3,6A Co^2 \sqrt{2gh}$$

*Ecuación 11 Flujo a través de un emisor.*

A: Área del orificio (mm); Co: coeficiente de descarga (0,6);

h: Carga hidráulica del orificio (m); g: gravedad (9.8)

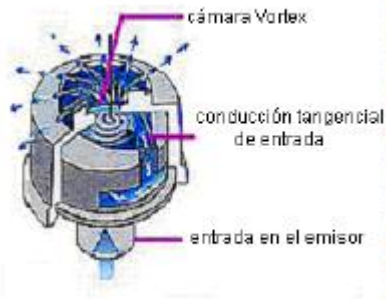
### **Tipos de Emisores**

**De recorrido largo:** tiene forma con sección transversal modificando las propiedades hidráulicas a flujo laminar llamado gotero de recorrido caracterizado por tener su caudal directamente proporcional con su variación de carga H.



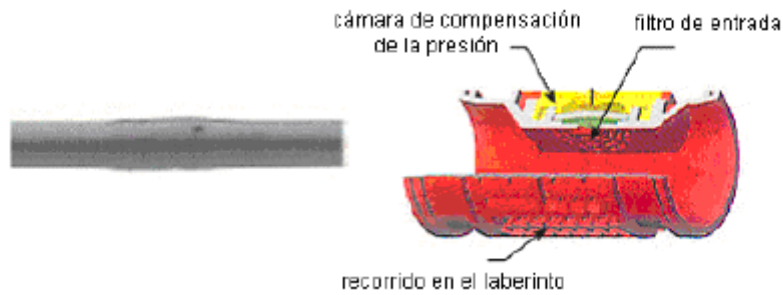
*Ilustración 5 Gotero de recorrido largo (Bowsmith,2003).*

**De vórtice:** Poseen una cámara circular en donde el flujo es centrífugo generalmente son microaspersores de rotación rápida



*Ilustración 6 Micro aspersor de vórtice (Santos Pereira et al., 2010) (Plastro, 2003).*

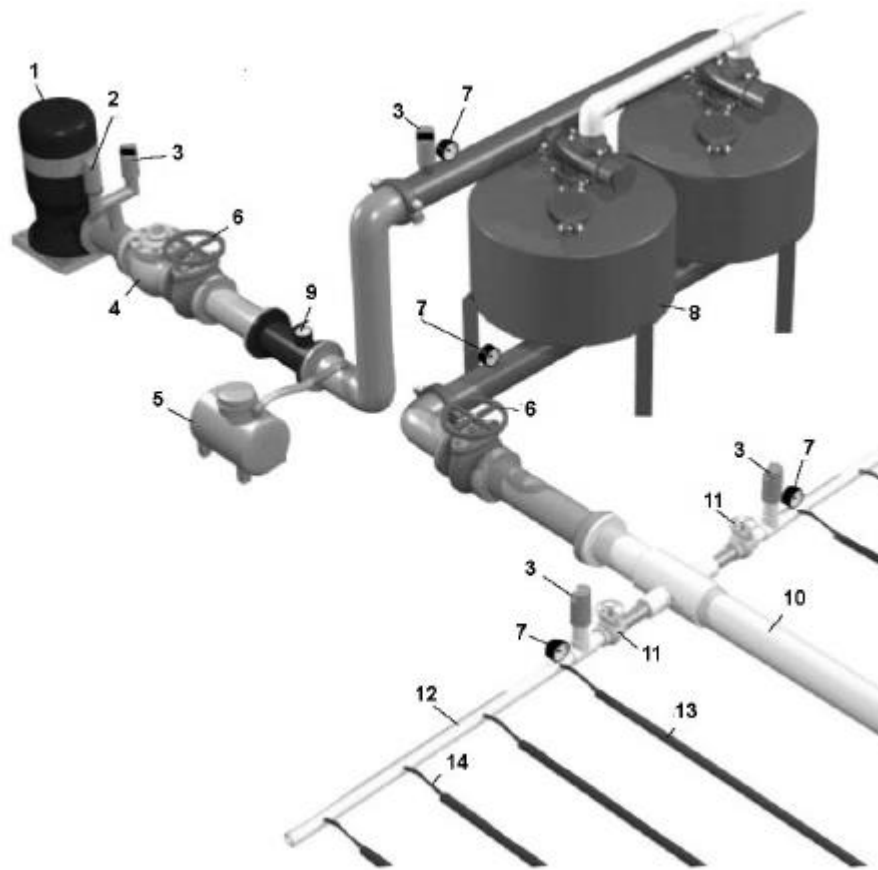
**Autocompensantes:** Dispositivos capaces de superar la carga hidráulica para proporcionar caudales fijos, estos permiten el uso de tuberías de diámetros grandes por lo tanto son utilizados en topografías accidentadas



*Ilustración 7 Gotero autocompensante (Santos Pereira et al., 2010) (Bowsmith, 2003).*



○ **Esquema general del sistema de riego**



*Ilustración 8 Riego localizado por partes, (TTape, 2003).*

1. Bomba.
2. válvula de equilibrio de presión.
3. válvula de vacío y escape de aire.
4. Válvula de regulación de presión.
5. Tanque de fertilizante.
6. Válvula comando de tubería principal.
7. Manómetro.
8. Filtro.
9. Caudalímetro.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

10. Tubería principal.
11. Válvulas de sector.
12. Tubería portar ramales con gotero.
13. Tubería porta gotero.
14. Conexión entre tubería portar ramales y ramales con gotero.

## Unidades de regulación y control

### Válvulas

**De seguridad:** Se posicionan aguas arriba para que el caudal sea constante actuando como equilibrio para que la red se mantenga en los intervalos deseados.

**De salida o purga del aire:** Ubicada en puntos altos de la red, utilizada para extracción del aire que se acumula para evitar perturbaciones en el flujo y deterioro del sistema.

**Volumétricas:** Programadas para permitir el paso de un volumen determinado de agua, o caudal por unidad de tiempo, normalmente comandadas por impulsos eléctricos

**Dispositivo de control automático:** Encargado de interconectar las unidades de campo, controlar las válvulas, portar ramales y goteros para definir la dosis adecuada de agua que se va a suministrar. Los principales actores son controladores o programadores de riego.

**Filtros:** Necesarios para minimizar el riesgo de obstrucción de los goteros por diferentes actores del medio, algunos tipos de filtros son:

**Filtro de malla:** es de gran extensión, su función es la detección de las partículas sólidas con el paso de la corriente



*Ilustración 9 Esquema del filtro de malla (Santos Pereira et al., 2010) (Toro, 2003).*

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

**Filtros de discos, o anillas concéntricas:** Dispuestos en un eje longitudinal, las anillas se ajustan para formar una sección transversal pequeña que sirve de filtro.



*Ilustración 10 Filtro de disco (Heliflex, 2003)*

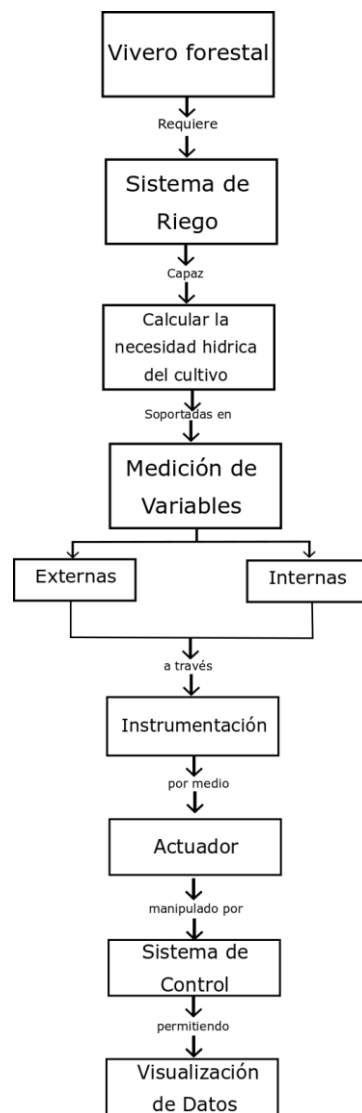
**Reguladores de presión o caudal:** Con un principio básico de restricción del paso se asegura un caudal constante, es necesario ubicarlo aguas arriba específicamente en redes de distribución o en los sitios de bombeo.

## 2. METODOLOGÍA

Para abordar el proyecto, se trabajó desde tres módulos encaminados a una crear una solución articulada de ingeniería, que pueda suplir la necesidad evidenciada mediante herramientas investigativas reales e implementables puestas al servicio de la comunidad EIA. Entre ellos se encuentran los módulos: comunicación, edafológico e hidráulico. Cada uno de estos describe una dinámica diferente de aspectos importantes del proyecto que en conjunto apuntan a la búsqueda de una solución adecuada e idónea que cumpla con los requerimientos establecidos.

Durante el proceso de investigación previo, surgen nuevas necesidades que acompañan e impactan directamente la problemática enmarcada en este proyecto, situación que obliga a los autores a redireccionar la implementación y hacer acondicionamientos previos, que permitan un desarrollo óptimo de la idea y cumplir a cabalidad el alcance de este proyecto. La principal problemática radica en la deficiente infraestructura del vivero forestal actual de la universidad EIA, situación que compromete el proyecto principalmente, debido a las condiciones variables internas que experimenta constantemente, su poca capacidad de aislamiento y autonomía, por lo cual surge la necesidad de construir un vivero que cumpla dichos requerimientos. Adicional a esto se consideró que la adición de este nuevo ítem abre la gama de posibilidades y oportunidades al proyecto en cuanto al manejo de la información como un valor agregado al mismo, por lo cual se decide implementar una página web y aplicación móvil en el módulo de comunicación que permitan un monitoreo remoto de las diferentes variables que involucra el proceso de riego automático de las especies forestales y nativas gracias a las dinámicas del *IoT (Internet of things)*.

Las necesidades principales del proyecto se plantearon en el siguiente diagrama que posteriormente fueron desarrolladas y seleccionadas en la sección 2.1



*Ilustración 11 Diagrama de requerimientos generales.*

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

## 2.1 DISEÑO Y SELECCIÓN

Módulo por modulo se muestra el proceso de diseño para el desarrollo del proyecto mediante lista de necesidades, matriz morfológica y matriz de selección.

### 2.1.1 Lista de necesidades

Con calificación de 1 a 5 se exponen los aspectos más relevantes para el diseño del proyecto.

*Tabla 6 Necesidades diseño y selección.*













ITEM	DISPOSITIVO	NECESIDAD	IMPORTANCIA
1	Controlador	Tamaño reducido	5
2	Controlador	Interconexión con base de datos y servidor	4
3	Controlador	Protocolo de comunicación ágil	3
4	Controlador	Conexión cámara web	2
5	Tarjeta de adquisición	Lectura de múltiples variables análogas	5
6	Tarjeta de adquisición	Capacidad de procesamiento y comunicación ágil	4
7	Tarjeta de adquisición	Bajo coste	3
8	Estación meteorológica	Bajo coste	5
9	Estación meteorológica	Lectura de múltiples variables	4
10	Estación meteorológica	Fácil instalación	3
11	Medidor de caudal	Rango de lectura acorde con flujo estimado	5
12	Medidor de caudal	Fácil instalación y acople a fuente hídrica	3
13	Plataformas de consulta y visualización	Código abierto	5
14	Plataformas de consulta y visualización	interfaz amigable	4
15	Plataformas de consulta y visualización	fácil codificación	3
16	Ambiente de propagación	Semicontrolado	5
17	Ambiente de propagación	Disposición del cultivo en mesa elevadas	4
18	Ambiente de propagación	Fácil instalación	3
19	Necesidad hídrica	Cálculo adaptado a ambientes controlados	5
20	Necesidad hídrica	Uso de variables medibles con sensórica disponible	4
21	Sistema de Riego	Precisión en suministro hídrico y accionamiento	5
22	Sistema de Riego	Fácil instalación y montaje	4
23	Sistema de Riego	Bajo coste	3
24	Sistema de Riego	Diseño estético	2

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.










### 2.1.2 Matriz morfológica

Después de definir las necesidades, se buscan varias opciones que puedan suplirlas y elegir posteriormente con criterio la más conveniente. Se dividen en dos matrices una que comprende el módulo de comunicación donde se puede encontrar los controladores, tarjetas de adquisición de datos hasta las plataformas que interactuaran con el usuario. Por otra parte, una matriz que comprenda el módulo edafológico donde se analizaran el ambiente más adecuado para la propagación del cultivo.

Tabla 7 Matriz morfológica módulo de comunicación.

Módulo de comunicación			
Plataforma web (framework)	 Django (Python) 4 5 5	 ASP.NET asp.net(C#) 0 5 4	 Ruby on Rails(Ruby) 4 5 2
Plataforma móvil (Framework)	 Xamarin(Multiplataforma) 4 0 5	 Android Studio(Android) 5 5 5	 XCode(iOs) 0 5 5
Servidor	 Microsoft IIS 5 5 5	 apache 0 4 5	 NGINX 0 5 3
Base de Datos	 MySQL	 PostgreSQL	 Oracle

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

	5 5 5	5 4 5	5 3 2
Controlador	 <p>PLC</p> <p>3 0 2</p>	 <p>Ni MyRio</p> <p>5 5 3</p>	 <p>Raspberry Pi 3</p> <p>5 5 5</p>
Tarjeta de adquisición	 <p>ARDUINO</p> <p>5 5 5</p>	 <p>MYDAQ</p> <p>5 5 3</p>	 <p>PIC18F4550</p> <p>2 3 5</p>
Estación meteorológica	 <p>DAVIS VANTAGE VUE</p> <p>0 5 5</p>	 <p>ATLAS WEATYHER STATION</p> <p>1 5 2</p>	 <p>SEN 0186</p> <p>5 5 5</p>

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



<p><b>Sensor de Flujo</b></p>	 <p><i>G1/2 flow sensor(SEED,2017)</i></p> <p>5 4 5</p>	 <p><i>k24 sensor</i></p> <p>5 2 5</p>	 <p><i>G1/2 Flow Sensor (SEED,2018)</i></p> <p>5 5 5</p>
-------------------------------	--	--	---





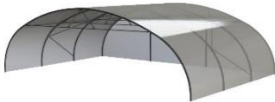


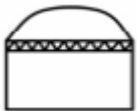
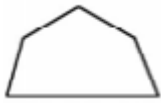
La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

<b>Módulo de comunicación</b>			
<b>Marcas</b>	<b>VERDE</b>	<b>ROJO</b>	<b>AZUL</b>
<b>Plataforma web</b>	Código Abierto, Framework de alto nivel con diseño limpio y pragmático.	Uso de arquitectura MVC o MVT, haciendo software escalable y modular.	Fácil codificación con lenguaje simple y estructurado orientado al uso de metodologías DRY.
<b>Programador plataforma móvil</b>	Despliegue gratuito, para desarrollo y producción.	IDE oficial autorizado, que permita desarrollar con todas las herramientas y utilidades.	Compilación y emulación real en la mayoría de los dispositivos físicos.
<b>Gestor de bases de datos</b>	Permite crear las estructuras apropiadas para integrar adecuadamente los datos, su almacenamiento y modificación.	Actualización que acerque su velocidad al tiempo real, facilitando el manejo de datos y rapidez del sistema en general.	Conexión y acople con las diferentes plataformas web y móvil sirviendo como puente entre estas.
<b>Servidor</b>	Gratuito	Despliegue ágil y estabilidad online del sitio.	Alta capacidad de procesamiento y almacenamiento.
<b>Controlador</b>	Tamaño reducido sin necesidad de acoples, estructuras y/o acondicionamientos adicionales.	Cuenta con módulo Wifi de conexión directa, sin acondicionamientos ni adicionales y compila código con librerías disponibles para la conexión al gestor de bases de datos seleccionado.	Soporta múltiples protocolos de comunicación cableada con otros módulos y tarjetas de adquisición de datos. Cuenta con conexión a cámaras USB convencionales.
<b>Adquisición de datos</b>	Cuenta con múltiples canales de lecturas análogas y digitales.	Soporta múltiples protocolos de comunicación cableada.	Bajo costo y código abierto.




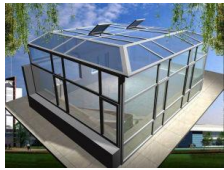


La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

<b>Estación meteorológica</b>	Bajo costo, compatible con tarjeta de adquisición de datos y disponibilidad en el mercado local.	Lectura de variables meteorológicas comunes, en rangos adecuados con alta regularidad en los datos.	Fácil instalación y acople al vivero.
<b>Sensor de Flujo</b>	Rango de medición adecuado respecto a niveles de flujos del suministro hídrico EIA.	Fácil instalación y acople al suministro hídrico disponible.	Envío de datos oportunos y compatibilidad con tarjeta de adquisición

Tabla 8 Matriz morfológica módulo edafológico.

<b>Módulo edafológico</b>			
<b>Ambiente de propagación</b>	 <i>completamente controlado</i> <b>2 1 5</b>	 <i>Semi-controlado</i> <b>4 5 5</b>	 <i>Mínimamente controlado</i> <b>5 3 5</b>
<b>Ambiente del Invernadero</b>	 <i>Paredes móviles</i> <b>5 5 4</b>	 <i>tipo arco</i> <b>4 3 4</b>	 <i>Casa sombra</i> <b>3 2 4</b>
<b>Estructura externa de Propagación</b>	 <i>Tipo arco o refugio</i> <b>5 4 3</b>	 <i>Armazón tipo arco</i> <b>4 3 3</b>	 <i>Armazón Aguilón rígido</i> <b>4 5 5</b>

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

<b>Contenedor</b>	 <p><i>Mesas/Cama</i></p> <p>5 4 5</p>	 <p><i>A cielo abierto</i></p> <p>1 2 1</p>	 <p><i>Módulos</i></p> <p>4 4 3</p>
<b>Cubierta</b>	 <p><i>Panel rígido Vidrio</i></p> <p>5 3 1</p>	 <p><i>Película plástica polietileno</i></p> <p>5 5 5</p>	 <p><i>película pastica de fluoruro</i></p> <p>4 5 5</p>

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

<b>Módulo edafológico</b>			
<b>Marcas</b>	<b>VERDE</b>	<b>ROJO</b>	<b>AZUL</b>
<b>Ambiente de propagación</b>	Bajo costo	Apto para producción de especies forestales, sin aislamiento de variables climatológicas locales.	Cuenta con ventilación natural, para evitar sistemas de enfriamiento.
<b>Ambiente del Invernadero</b>	Flexibilidad para el control de las operaciones ambientales, que a través de su naturaleza se obtengan beneficios que inviten a omitir sistemas como el de enfriamiento, filtros de iluminación etc.	Incidencia de variables locales para fortalecimiento y endurecimiento de especies forestales.	Pocas modificaciones ambientales y/o aislamiento respecto a entorno en el que se desarrolla.
<b>Estructura externa de Propagación</b>	Capaz de captura la máxima cantidad de luz solar.	Soportar vientos considerablemente altos y la variabilidad constante del clima. Una estructura que pueda brindar exposición al ambiente o refugio cuando sea necesario.	Bajo costo y facilidad de replicar su estructura para modelos a pequeña escala o viveros de poca envergadura.
<b>Contenedor</b>	Distancia entre el suelo y la superficie de cultivo para el correcto flujo de aire y baja probabilidad de contaminación con plagas.	Comodidad para manipulación del cultivo (entresacas, deshierbes, reacomodos)	Óptimo para especies forestales y el espacio que ocupan.
<b>Cubierta</b>	Estructura con alta capacidad de captación de luz solar y mantenimiento de niveles de temperatura.	Bajo coste y facilidad de instalación, bajo peso. Evitando sistemas de sujeción o soporte.	Estructura de carácter descendiente es decir que no permita almacenamiento de suciedad o aguas lluvias

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

## 2.2 Módulo edafológico

Durante el proceso de investigación y consulta de fuentes bibliográficas respecto a los métodos de cálculo y estimación de la necesidad hídrica, se encuentran múltiples métodos y una amplia gama de posibilidades que consideran metodologías de carácter experimental, técnico, predictivas y/o tradicional. Cada una implementada en diferentes condiciones edafológicas y climáticas evidenciando óptimos resultados en sus ejecuciones respecto a disminución en gasto hídrico y mejoras en los procesos productivos. Sin embargo, la selección del método para el proyecto se basó en dos parámetros especiales que reducen la cantidad de técnicas a considerar:

1. Ambiente de propagación: El manejo de cultivo en vivero o ambiente controlado, restringe la gran mayoría de métodos que son orientados a cultivos a cielo abierto.
2. Bajo Costo: El proyecto de carácter exploratorio requiere la optimización de recursos, por lo cual se hace una evaluación profunda de los métodos en beneficio y costo.

Dadas las condiciones nombradas, se evaluaron métodos con modelaciones matemáticas y mediciones directas, entre ellas el uso de funciones de pedotransferencia (PTFs) de carácter predictivo basado en propiedades hidráulicas del suelo que se permite describir dinámicas de movimiento de agua y transporte de solutos, con fines de anticipar los valores de recurso hidráulico y de nutrientes requeridos, mediante modelos de regresiones lineales y no lineales generalmente con redes neuronales. De acuerdo a la experiencia de (Basile, 2008) y (Pineda, Suelos, Cuenca, & Lago, 2011) es necesario tener *datasets* con informaciones del suelo y resultados tabulados de estudios granulométricos y de curvas de retención, realizados en laboratorios para dar validez a las funciones generadas, y de esta manera acercar el modelo al comportamiento real del suelo en el que se desarrollan las especies, por este motivo no se consideró este tipo de solución.

Dentro de las posibilidades de mediciones directa o 'insitu' se contemplan el uso de sensores e instrumentación adecuada para realizar mediciones de humedad en el suelo como el lisímetro de pesada y sonda TDR, cuya finalidad radica en el análisis de variables internas para determinar dos valores extremos de riego correspondientes a la capacidad de campo (mínimo) y humedad aprovechable (máximo) dentro de los cuales el sistema de control debe mantener, esta experiencia según (Orozco, 2010; Urrea, Rodríguez, Molina, & Olalla, 2006) resultó productiva elevando niveles de producción y ahorros significativos en volumen de agua usados. Sin embargo el trabajo investigativo realizado por (Castro Popoca et al., 2008) en donde compara ambos métodos enunciados con un tercero llamado Balance Hídrico Climático arrojando resultados muy similares y teniendo en cuenta que el costo de la instrumentación usada es menor respecto a los iniciales se decidió optar por este método.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

En la siguiente ilustración se identifican las variables y relaciones que se ejecutan para el cálculo del volumen de referencia (teórico) requerido por el cultivo según las mediciones y condiciones climatológicas:

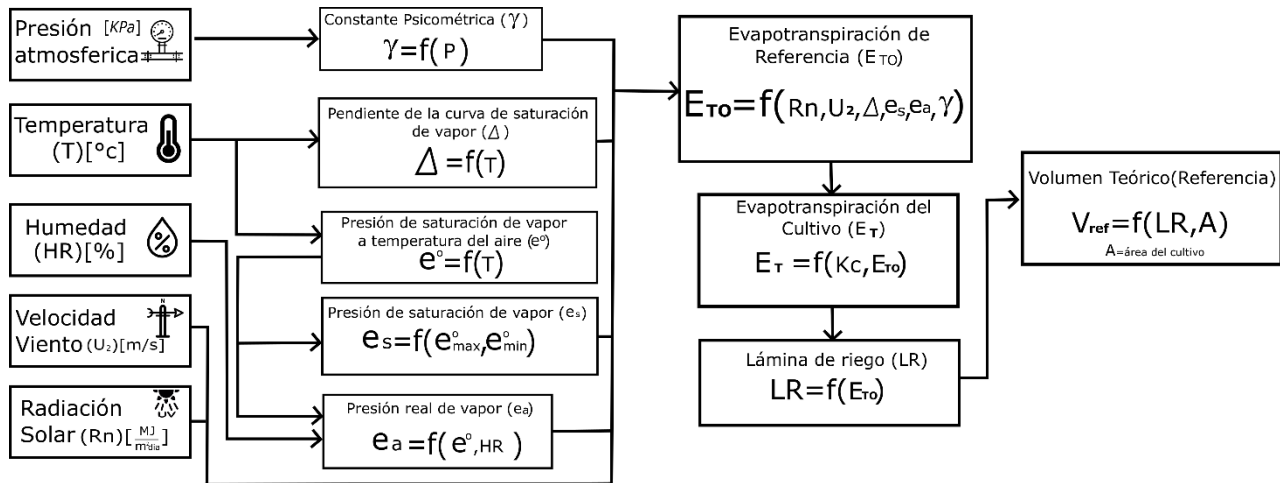


Ilustración 12 Esquemático de metodología para cálculo de volumen de referencia.

### 2.2.1 Balance hídrico climático

Este método es utilizado para determinar la disponibilidad de agua en cierta zona durante un periodo de tiempo considerando variables meteorológicas para su cálculo y determinar la falta o exceso de agua. (Castro Popoca et al., 2008)(Ruiz Álvarez et al., 2012) usaron el cálculo de la evapotranspiración como el método más acertado para identificar esas pérdidas de agua que tiene determinado cultivo en función de las condiciones y variables climáticas que experimenta.

### 2.2.2 Evapotranspiración (Et)

El cálculo de la evapotranspiración en un cultivo según las Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 1990), se puede obtener usando la evapotranspiración de referencia corregida por un factor del cultivo analizado llamado Kc así:

$$Et = Eto * Kc$$

Ecuación 12 ecuación para encontrar la evapotranspiración referencia con corrección del factor del cultivo.

Los métodos de cálculo de la evapotranspiración de referencia son múltiples y varían dependiendo de las condiciones experimentales en las que se desenvuelva el cultivo, cada uno contempla variables diferentes entre las más usadas están: Método de tanque evaporímetro, ecuación de FAO Penman-Monteith, formula de thornthwaite, modelo FAO

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

radiación entre otros. Para las condiciones controladas situadas en vivero con cubierta de plástico según el estudio de maestría llamado “*Evapotranspiration Models in greenhouse*” realizado por (Ilahi, 2009), el método más idóneo es FAO *Penman-Monteith* comparado con otros 9 métodos usados académicamente, por lo tanto se definió usar dicho método.

### 2.2.3 Evapotranspiración de referencia

El análisis de datos se definió realizar cada día por lo tanto se usó la ecuación de periodos diarios de FAO *Penman-Monteith*

$$E_{to} = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \frac{900}{T + 273} (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

*Ecuación 13 Evapotranspiración de referencia.*

$E_{to}$ = evapotranspiración de referencia (mm día-1)

$R_n$ =radiación neta en la superficie de referencia [MJ m-2 día-1]

$G$ =densidad del flujo del calor del suelo [MJ m-2 día-1]

$T$ =temperatura media del aire [°C],

$\Delta$ =pendiente de la curva de presión de saturación de vapor en [kPa °C-1]

$\gamma$ =constante psicrométrica [kPa °C-1]

$e_s$ =presión de saturación de vapor [kPa]

$e_a$ = presión real de vapor [kPa]

$u_2$ =promedio diario de la velocidad del viento [m s-1].

A continuación se describen las variables desconocidas, en función de los datos leídos por sensores según (FAO, 1990).

#### Densidad del flujo del calor del suelo (G)

Como la magnitud del flujo de calor bajo la superficie de referencia es relativamente pequeña, esta puede ser ignorada y entonces:

$G_{day}$ .

$$G_{day} \approx 0$$

*Ecuación 14 Se asume la densidad del flujo de calor del suelo igual a cero.*

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



### Presión de saturación de Vapor ( $e_s$ )

la presión media de saturación de vapor para un día, semana, década o mes, debe ser calculada como el promedio de la presión de saturación de vapor a la temperatura máxima media y la presión de saturación de vapor a la temperatura mínima media del aire para ese período (FAO, 1990):

$$e_s = \frac{e^o(T_{max}) - e^o(T_{min})}{2} \quad e^o(T) = 0.6108 e^{\frac{17.27 T}{T+273.3}}$$

$$e_s = \frac{e^o(T_{max}) - e^o(T_{min})}{2}$$

$$e^o(T) = 0.6108 e^{\frac{17.27 T}{T+273.3}}$$

*Ecuación 15 presión de saturación de vapor.*

$T$  = Promedio de temperatura diario [°C]

### Presión real de vapor ( $e_a$ )

$$e_a = e^o(T) \frac{HR}{100}$$

*Ecuación 16 Presión real de vapor.*

$HR$  = Humedad Relativa [%]

### Constante psicométrica ( $\gamma$ )

$$\gamma = 0.665 * 10^{-3} Patm$$

*Ecuación 17 Constante psicométrica.*

$Patm$  = Presion atmosferica [KPa]

### Pendiente de la curva de presión de saturación de vapor ( $\Delta$ )

$$\Delta = \frac{4098 * 0.6108 * e^{\frac{17.27 * T}{T+273.3}}}{(T + 273.3)^2}$$

*Ecuación 18 Pendiente de la curva de saturación de vapor.*

$T$  = Promedio de temperatura diario [°C]

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

### Evapotranspiración (ET)

Todas las variables enunciadas anteriormente quedan en función de datos medidos por la estación meteorológica SEN 0186 como se contempla en el módulo de Comunicación, para la realización del cálculo de ETo, posteriormente se realiza la corrección de este valor con el coeficiente único del cultivo (Kc). Para las especies forestales clasificadas como árbol o arbusto, este valor es estándar debido a la naturaleza poco cambiante de su especie y su estabilidad a lo largo de los procesos de crecimiento y producción, Kc=0.9 (FAO, 1990) y finalmente se obtiene la evapotranspiración total de cultivo ET.

### Cálculo de Necesidad Hídrica

Partiendo del tipo de sistema de riego a usarse (goteo autocompensado), se procede a calcular la necesidad hídrica en volumen (Litros) basados en la experiencia de (Figueroa, 2013) (Figueroa, 2013)(Sanchez & Vazquez, 2006), en primera instancia calculando la lámina de riego.

### Lamina de Riego

El cálculo de la lámina de riego se hizo mediante la ecuación:

$$LR = \frac{ET}{EficienciaRiego}$$

*Ecuación 19 Lamina de riego.*

*EficienciaRiego* =0.9 para sistemas de riego por goteo

### Volumen de Riego [litros]

Es la salida del sistema y valor solicitado por la raspberryPi3 para el sistema de control del riego descrito en módulo de comunicación.

$$Vref = LR * AreaCultivo$$

*Ecuación 20 Volumen de riego.*

$$AreaCultivo = \text{largo del cultivo [mm]} * \text{ancho cultivo [mm]}$$

*Ecuación 21 Área de cultivo.*

## 2.3 Módulo de comunicación

En este módulo se encuentra el envío y recepción de datos, *Frameworks*, entornos de desarrollo que involucran desde el sensado en campo hasta la visualización y digitalización de la información.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Partiendo del concepto de IOT, entendida como la capacidad de interconectar objetos como sensores o dispositivos cotidianos a la internet a través de redes fijas o inalámbricas siendo fuente de datos que posteriormente pueden ser monitoreados o manipulados para hacer una interfaz de amigable de cara al usuario.(Fundación de la Innovación Bankinter, 2011).

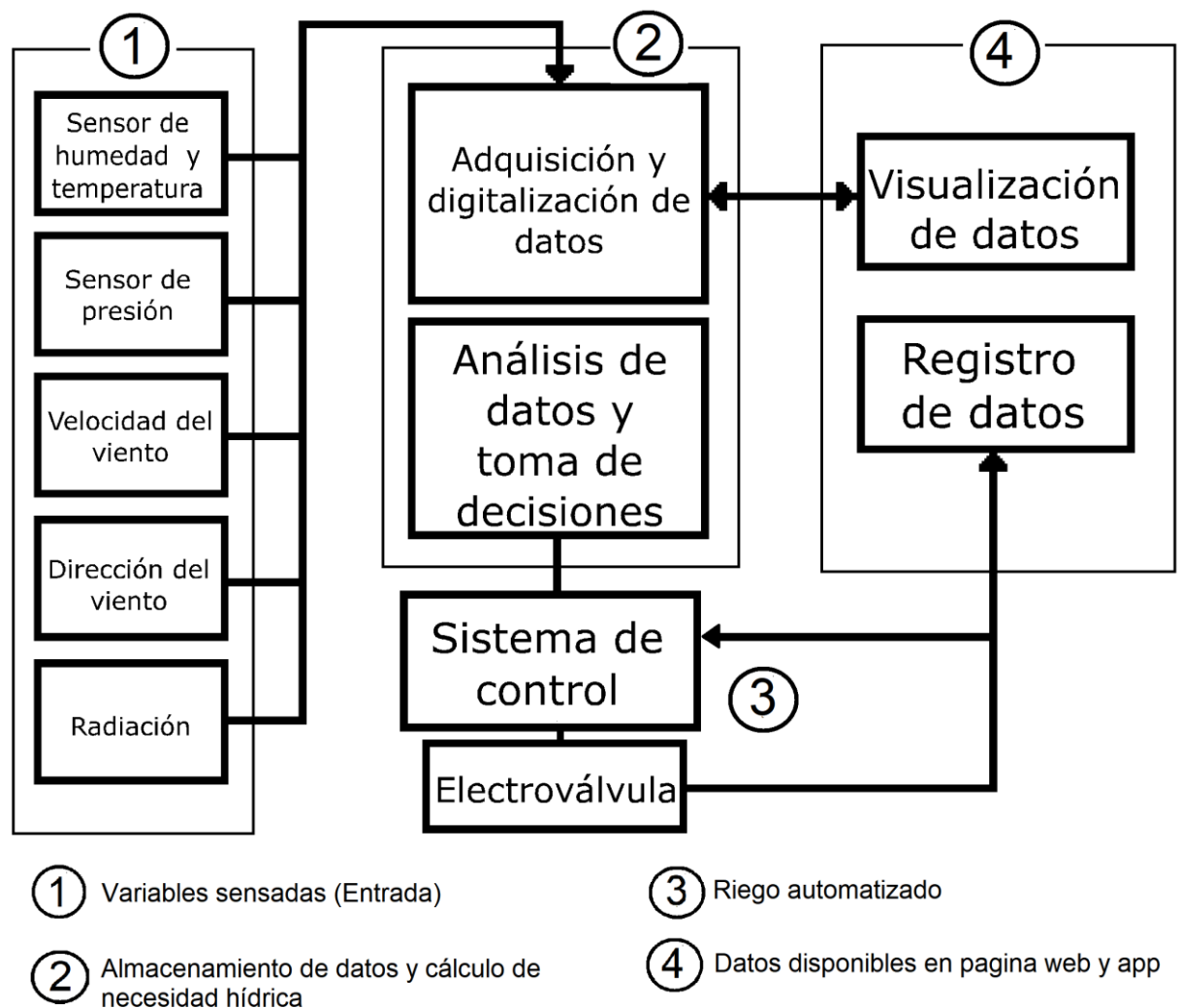
IOT, en su amplio concepto se simplifica en tres capas según (Fundación de la Innovación Bankinter, 2011):

- **Hardware:** Principalmente los sensores son los protagonistas de esta capa, ya que a través de ellos se le puede dar “vida” a casi todos los objetos cotidianos generando la respectiva interacción con los diferentes ordenadores a través de internet, permitiendo recopilar información acerca de si mismos y el entorno en el que se desenvuelven.
- **Infraestructura:** Se compone de los dispositivos con capacidad de recepción de información de la capa uno y posterior publicación en un gestor de datos, en esta instancia es importante considerar el tema de la velocidad de conexión y procesamiento complementado con la comunicación de bajo consumo.
- **Aplicaciones y servicios:** El ítem más amplio y diverso que comprende todo los Software y desarrollos que le dan valor a la cantidad de datos extraídos y la puesta al servicio de los clientes a través de diferentes plataformas.

Estos tres aspectos fundamentan y dan valor agregado al proyecto abordado desde la interacción y visualización de los sensores en situados en campo a través de las plataformas móvil y web, mejorando la experiencia del usuario poniendo a su alcance un flujo de información relevante y oportuna, a la par con la mejora de los procesos productivos tecnificando labores que se realizan en nuestro medio de manera manual.

Haciendo la similitud con la clasificación de las tres capas se puede encontrar en la primera el arreglo de sensores que se genera con la estación meteorológica y Caudalímetro conectados a las tarjetas Arduino como sistemas de adquisición de datos a través de un protocolo de comunicación que agiliza el envío de datos, posteriormente la segunda capa compuesta por la Raspberry Pi 3 actor fundamental y central del proceso, encargado de comunicarse con la capa uno mediante *Scripts* bajo el lenguaje de programación *Python* aprovechando sus diversas y robustas librerías para recibir información, procesarla, tomar decisiones, emitir salidas y comunicarse con el servidor. Todo este flujo de datos pasa a ser consumido por la capa tres para generar la interfaz gráfica como último paso del proceso para con el usuario, permitiéndole identificar una a una las variables involucradas y las acciones que se llevan a cabo en el sistema de riego, mediante las plataformas móvil y web. En la ilustración 13 se muestra de manera general la interconexión de elementos que se proponen como solución del presente proyecto, como un ejemplo de arquitectura del módulo de comunicación del proyecto:

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



*Ilustración 13 Diagrama de bloques general del proyecto.*

### 2.3.1 Adquisición de datos

En este apartado se encontrar todo lo relacionado con la circuitos y especificación de la instrumentación usa, además de la conexión en detalle de cada dispositivo y sensor.

El arreglo de sensores que se implementó con las respectivas especificaciones fue:

Estación meteorológica SEN0186 que comprende:

1) Anemómetro SEN0186:



Ilustración 14 Estación meteorológica SEN0186.

Tabla 9 Especificaciones anemómetro.

ESPECIFICACIONES ANEMÓMETRO SEN0186 (DFROBOT, 2016):

TIPO	Contactor magnético
MATERIAL	Policarbonato
RANGO DE MEDIDA	1-2000mph ±2mph
ERROR	
DIMENSIÓN	381mm x 38mm x 457mm
PESO	1.332kg

2) Veleta SEN016

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Tabla 10 Especificaciones veleta.

**ESPECIFICACIONES VELETA SEN0186 (DFROBOT, 2016):**

<b>TIPO</b>	Potenciómetro y divisor de voltaje
<b>MATERIAL</b>	Polycarbonato
<b>RANGO DE MEDIDA</b>	1-360°
<b>ERROR</b>	±90°
<b>DIMENSIÓN</b>	271mm x 38mm x 575mm
<b>PESO</b>	1.002kg

**3) Sensor de presión atmosférica BMP085**

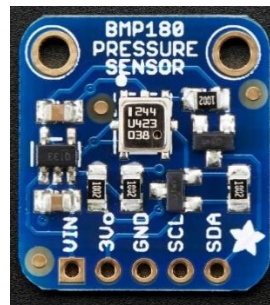


Ilustración 15 Sensor de presión atmosférica(ADAFRUIT, 2016).

Tabla 11 Especificaciones sensor de presión atmosférica.

**ESPECIFICACIONES BMP085(BOSCH SENSORTEC, 2013)**

<b>TIPO</b>	piezo-resistive Altímetro
<b>RANGO DE MEDIDA</b>	300-1100hPa
<b>ERROR</b>	±10hPa
<b>DIMENSIÓN</b>	3.6mm x 3.80mm x 0.93mm
<b>PESO</b>	10mg
<b>ALIMENTACIÓN</b>	3v

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

4) Sensor de humedad relativa y temperatura(DHT22)

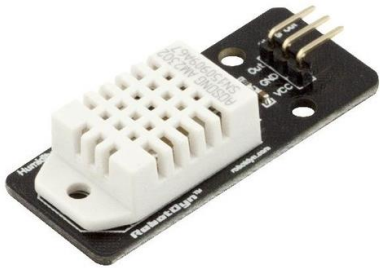


Ilustración 16 Sensor de humedad relativa y temperatura DHT22.

Tabla 12 Especificaciones DHT22.

ESPECIFICACIONES DHT22 (AOSONG ELECTRONICS CO, 2015)	
TIPO	Digital
RANGO DE MEDIDA	-40°C - 80°C // 0% -99%
ERROR	±1°C // ±2%
TIEMPO ESTIMADO DE RESPUESTA	<10seg
PERIODO DE MUESTREO	2 seg
ALIMENTACIÓN	3.3-5v

5) Sensor De Flujo



Ilustración 17 Sensor de flujo YF-S201.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Tabla 13 Especificaciones YF-S201.

ESPECIFICACIONES YF-S201 (AOSONG ELECTRONICS CO, 2015)	
TIPO	Rotor y efecto Hall sensor
RANGO DE MEDIDA	1L/min-30L/min
ERROR	±2L/min
DIÁMETRO EXTERNO	20mm
ALIMENTACIÓN	5V – 24V

### Lectura de datos

Las variables involucradas en el proceso de crecimiento y desarrollo de especies forestales en ambientes controlados son múltiples y de diferente índole. En primera instancia se tienen las variables meteorológicas que describen el ambiente de propagación, sus condiciones y dinámicas internas, posteriormente el cálculo de la necesidad hídrica en función al tipo de cultivo y área en el que se desenvuelve y finalmente el acople de todo lo anterior para el suministro adecuado de dicha necesidad. Para el proceso descrito anteriormente se definió protocolos de comunicación maestro-esclavo, contando con dos tarjetas adquisidoras de datos tipo Arduino (esclavos) y un controlador receptor RaspberryPi3 (Maestro).



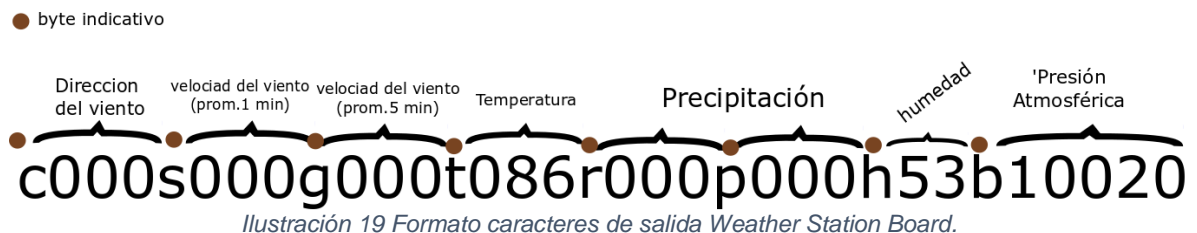


Donde:

1. Raspberry PI microcomputadora central con sus respectivas conexiones.
2. Esclavo número uno, con conexión de estación meteorológica y comunicación con maestro.
3. Esclavo número dos, conexión con sensor de flujo y comunicación con maestro
4. Actuador, válvula solenoide con acondicionamiento de señal accionadora, por medio de tarjeta integrada con optoacoplador y relé.
5. Fuente de alimentación, alimentación a todo el sistema el eléctrico con fuente conmutada.

### Esclavo número 1

La estación meteorológica cuenta con un *shield* denominado '*Weather Station board*' por el fabricante, que interconecta directamente el anemómetro y veleta por medio de cableado RJ-11 y por comunicación hilada toma sus datos. Todas las conexiones del esclavo uno se puede observar en la sección 2 de la ilustración 18. Este *shield* también se incorpora el sensor de temperatura-humedad relativa y el de presión atmosférica, mediante comunicación serial pre procesando los datos y generando una cadena de caracteres para ser consumida por otros dispositivos con el siguiente formato:



Entendiendo que el '*shield*' brinda comunicación serial, se realizó el acople cableado con la tarjeta de adquisición seleccionada en la sección 2.1 (Arduino) como se describe en la siguiente ilustración:

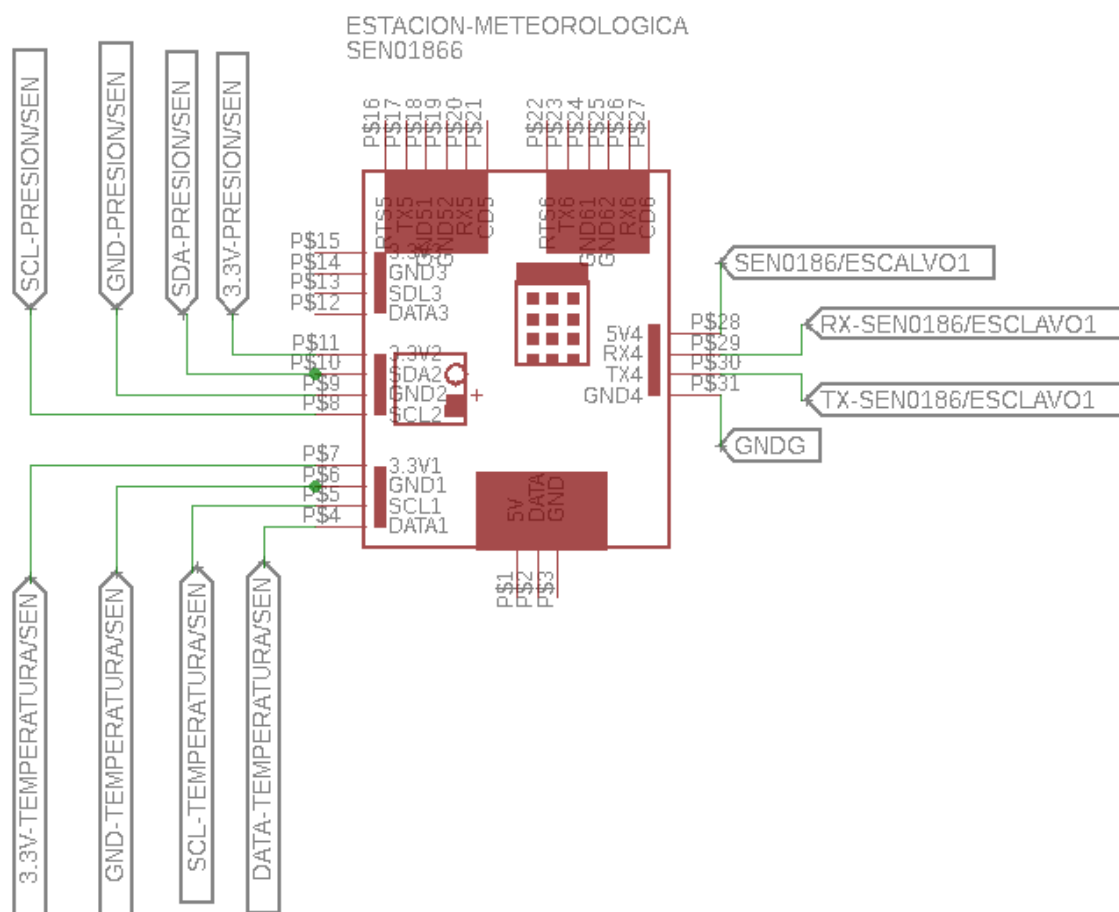


Ilustración 20 Arquitectura de hardware Weather Station Board con conexiones a los demás elementos del circuito.

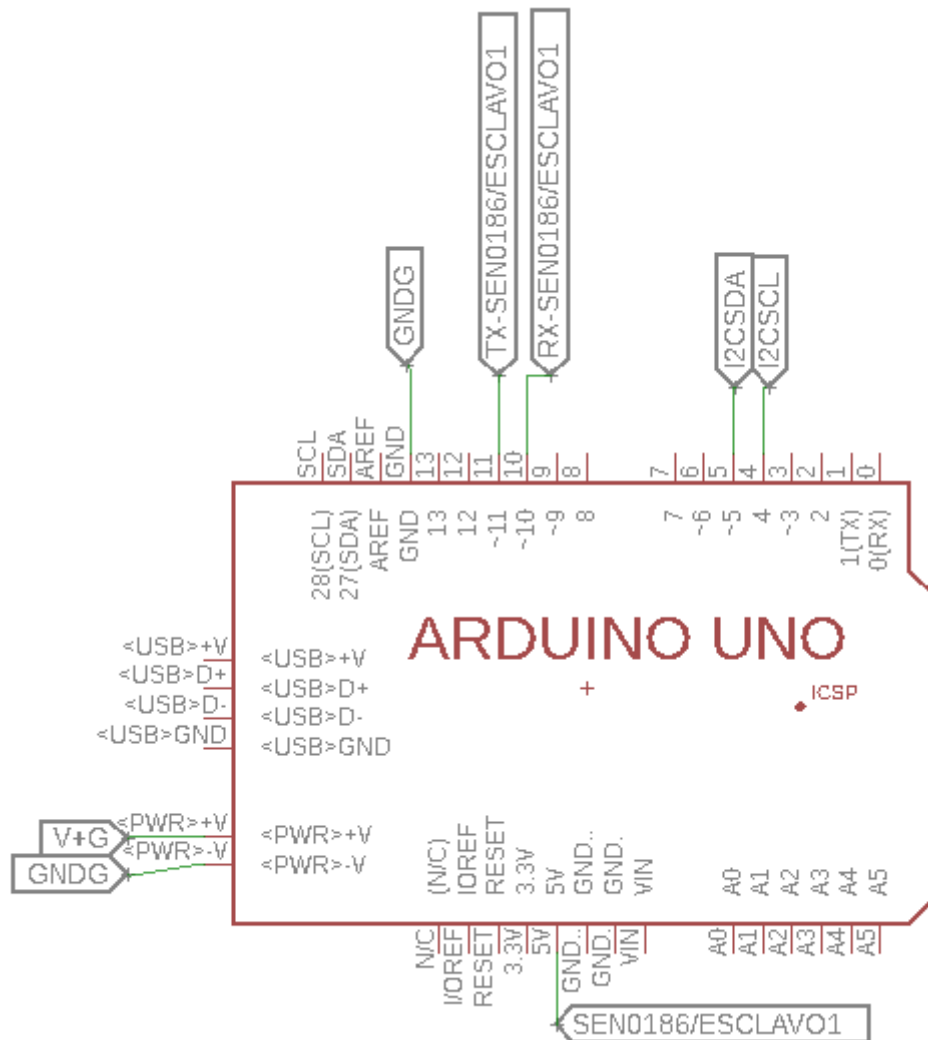


Ilustración 21 Arquitectura de hardware Esclavo 1 con conexiones a los demás elementos del circuito.

En el script de Arduino, se utilizó la librería *SoftwareSerial.h* para la utilización de un nuevo serial diferente al tradicional para la adquisición de datos buscando mayor estabilidad de la conexión y evitando conflicto con la librería *Wire* encargada del bus I2C y la disposición del protocolo para uso MAESTRO-ESCLAVO. En general el código realizado hace un chequeo de puerto serial disponible y busca en su lectura el carácter 'c' como indicativo de lectura correcta según la ilustración 4, para posteriormente generar un arreglo de datos transformados a enteros y convertidos al sistema internacional mediante la función *transCharToInt* (ver anexo 6.3), también declara globalmente la tarjeta Arduino como esclavo y se prepara para enviar la data cuando su maestro la requiera mediante la función *onRequest* generando una interrupción al ciclo de lectura que se realiza cada 3 segundos teniendo en cuenta los tiempos de respuesta de algunos sensores descritos.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

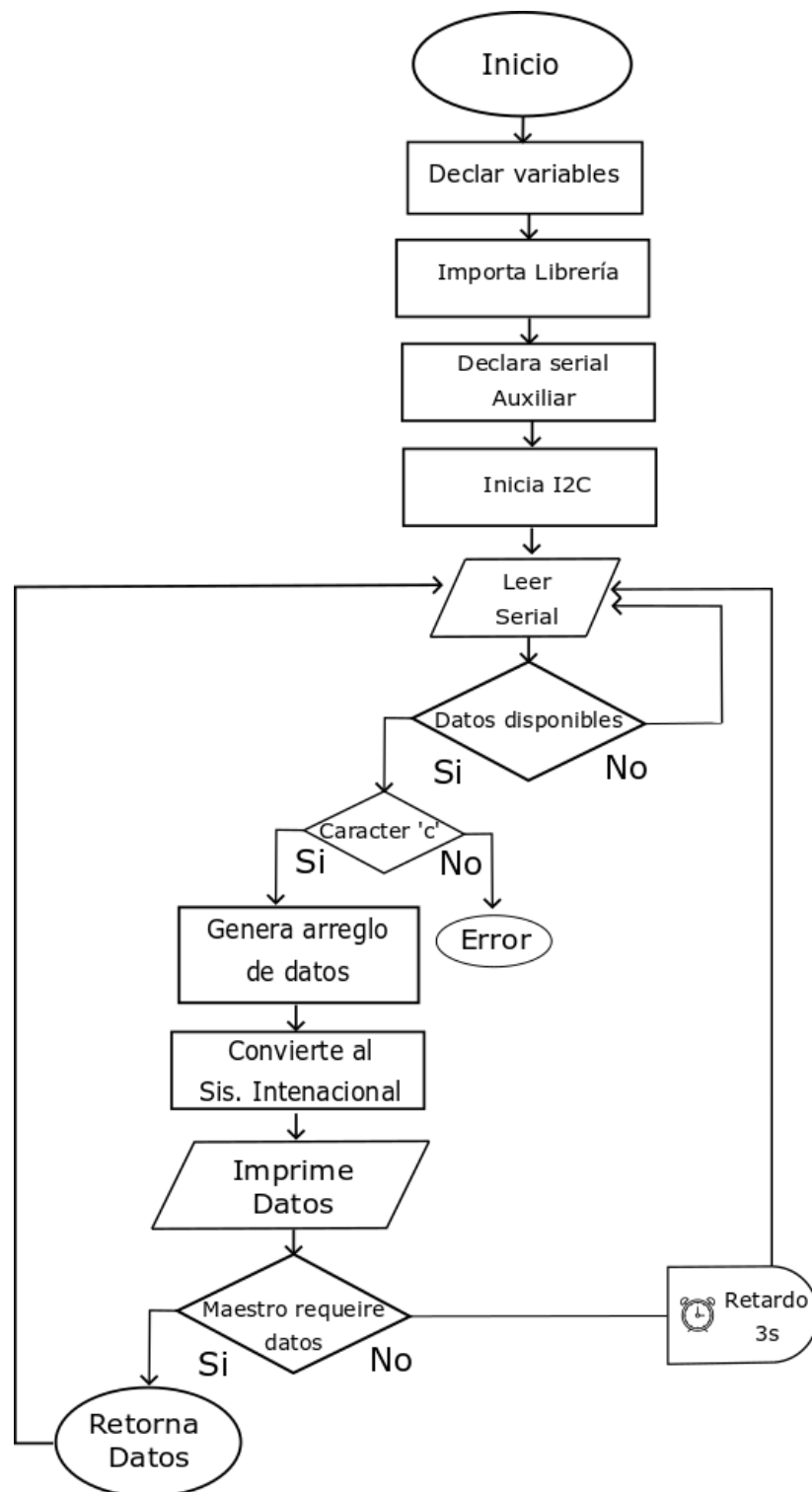
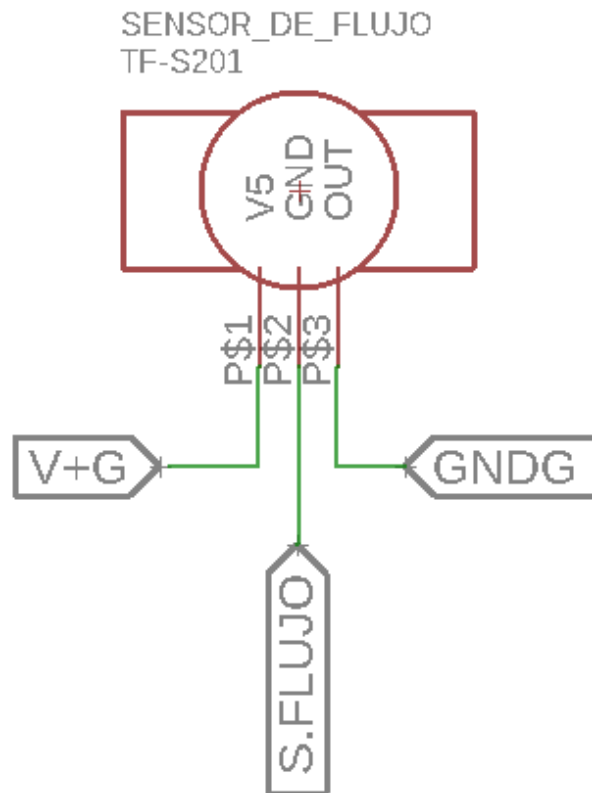


Ilustración 22 Diagrama de flujo código 'Esclavo 1'.

## Esclavo Número 2

El registro del volumen a la salida del sistema de riego se realizó con el sensor de flujo de efecto hall YF-S201 descrito en esta sección cuyo acople se hace en la línea del agua y es el encargado de comunicar al maestro cuando este requiera su información del recurso hídrico real suministrado al cultivo por el sistema de riego. La conexión se puede observar en la sección 3 de la ilustración 18.



*Ilustración 23 Arquitectura de hardware sensor de flujo con conexiones a los demás elementos del circuito.*

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



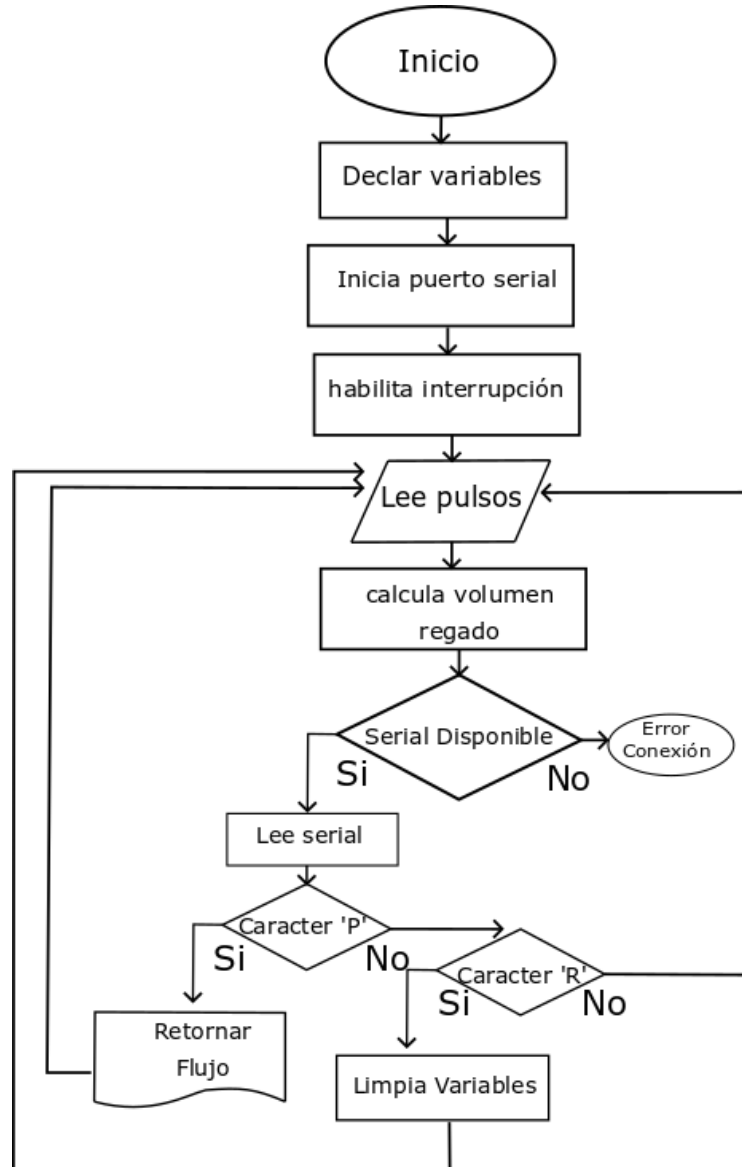


Ilustración 25 Diagrama de flujo código de 'esclavo 2'

## Procesamiento de datos

Del lado del maestro encontramos a la RaspberryPI3 como controlador y centro de procesamiento de datos del vivero y sistema de riego. Este dispositivo fue acondicionado con *Raspbian* una distribución del sistema operativo GNU/Linux basado en *Debian Jessie*, seleccionado por ser libre, por su optimización en cálculos, alto rendimiento y

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



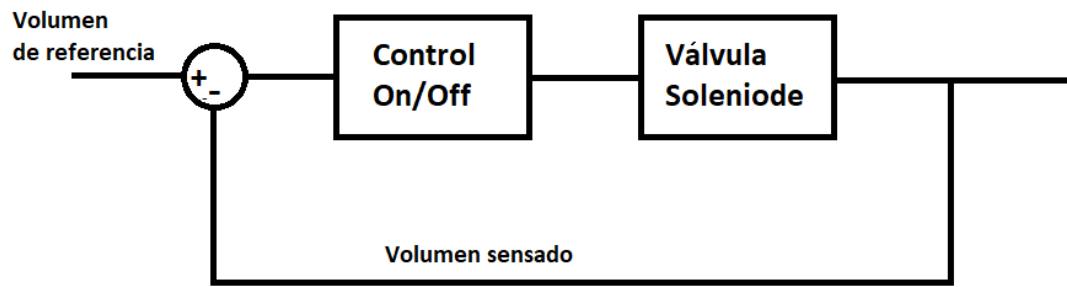
principalmente por contener herramientas de desarrollo como IDLE para Python (Raspbian, 2012), lenguaje seleccionado como fuente y base del proyecto por sus características de alto nivel, sencillez en codificación, portabilidad y su importante presencia en el mercado del desarrollo de software global superando cifras históricas de uso y consulta en plataformas como *StackOverflow* en un 64% respecto a los grandes lenguajes tradicionales (Spronck, 2017) (*StackOverflow*, 2017).

El código del controlador para el procesamiento de datos se basa en la metodología estructurada con la finalidad de generar funciones y subrutinas secuenciales que se ejecuten en un orden establecido las tareas asignadas facilitando la lectura del código y orden de este (Quero & López, 1997), la secuencia establecida se encuentra en la ilustración 27, código implementado en la RaspberryPI3 usando librerías propias para el manejo de puertos a la hora de la lectura y apertura de válvula proporcional para el riego mediante *Rpi.GPIO*, el manejo de comunicación I2C como maestro con *Smbus*, las peticiones con *Arduino.serial* y el manejo de base de datos con *MySQLdb*. Las conexiones de las de este dispositivo se pueden encontrar en la sección 1 de la ilustración 18.

El script central del sistema de riego y adquisición de datos inicia realizando la conexión al gestor de bases de datos alojada en el servidor con dirección I.P: 74.208.244.104 con las respectivas credenciales y procesos de autenticación, paso siguiente inicializa la comunicación i2c con el esclavo designado por el canal 06, solicitando la información meteorológica cada hora para ser almacenada en un arreglo de 24 posiciones para cumplir con la condición de riego diaria. El cálculo de la necesidad hídrica se realiza con los valores promedios del arreglo de datos y posteriormente se registran una a una las variables en base de datos para ser consumidas por las demás plataformas y finalmente se encuentra el valor del volumen requerido que acciona el sistema de riego, en este proceso el maestro solicita información al esclavo 2 cada segundo para hacer comparación del valor deseado respecto al real basado en la técnica de control *ON-OFF* y al momento de igualar rangos(error nulo) se da fin al proceso de riego y se registra nuevamente las variables involucradas en el proceso.

### **Control ON-OFF**

De acuerdo con la necesidad se implementó un sistema de control *On/Off* o también conocido como todo o nada, donde el elemento final de control solo tiene dos posiciones fijas, encendido o apagado. Este tipo de control es de bajo costo y fácil de implementar, usualmente se pueden encontrar en sistemas industriales y domésticos (KATSUHIKO OGATA, 1998); Este sistema es aplicado para el control de la dosificación del recurso hídrico que se puede representar en el siguiente diagrama de bloques.



*Ilustración 26 Diagrama de bloques sistema de control On/Off.*

El sistema de control tiene como entrada un volumen de referencia dado por la ecuación de evapotranspiración (ecuación 20), que indica el requerimiento hídrico del cultivo, el cual va ser dosificado cuando se le da la señal de apertura a la válvula solenoide, mientras se está suministrando agua el sensor de caudal está censando indirectamente el volumen de agua que ha pasado desde el momento de la apertura, este valor es guardado y comparado mediante la realimentación con el volumen de referencia, cuando el error o la diferencia entre los dos volúmenes sea cero o cercano, el controlador enviara la señal de cierre a la válvula solenoide.

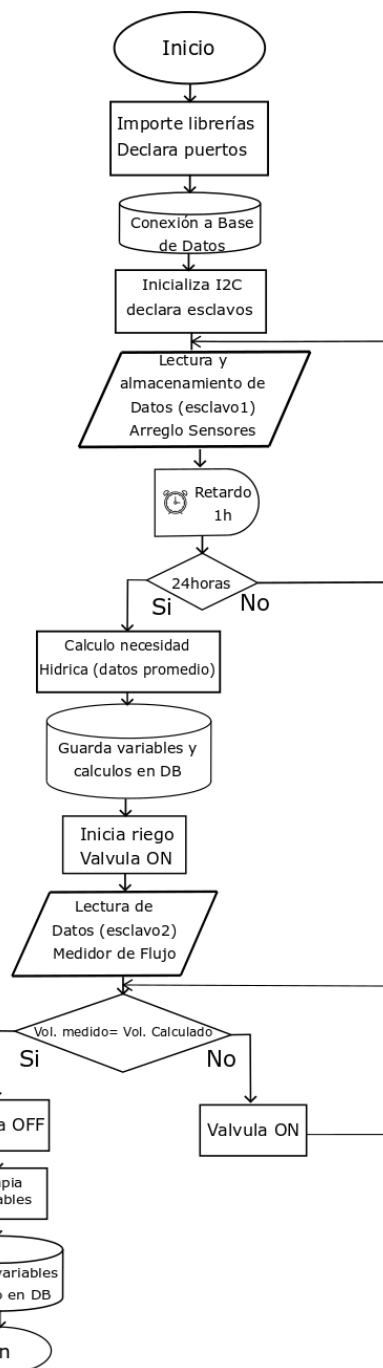


Ilustración 27 Diagrama de flujo código de dispositivo Maestro RaspberryPi3.

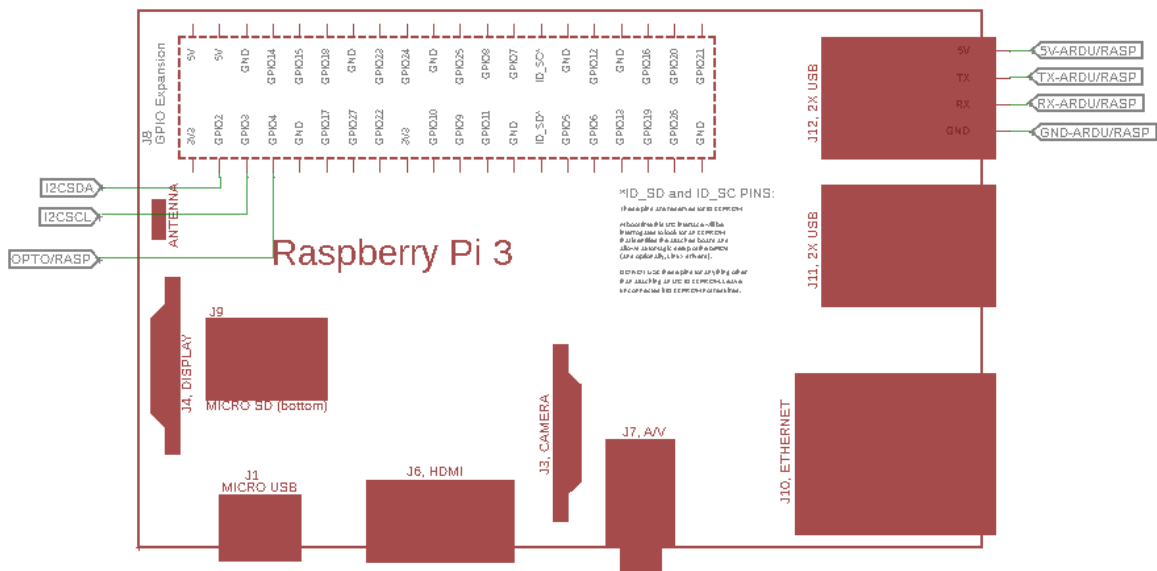


Ilustración 28 Conexiones de la Raspberry Pi con los demás dispositivos del circuito.

## Acondicionamiento eléctrico

Para la alimentación del sistema se usó una fuente Conmutada de 5v que permite la interconexión de los diferentes dispositivos y sensores manteniendo una corriente estable a altas frecuencias, y se protegiera del apagado inesperado del sistema.



Ilustración 29 Fuente conmutada.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Tabla 14 Especificaciones fuente conmutada.

FUENTE CONMUTADA 5V-2A-10W	
<b>VOLTAJE DE SALIDA</b>	5VDC
<b>CORRIENTE MAX.</b>	2A DC
<b>POTENCIA NOMINAL</b>	10W
<b>RIZADO Y RUIDO</b>	120 Mv P-P
<b>TIEMPO DE ACTIVACIÓN</b>	20 ms/230VAC
<b>VOLTAJE DE ENTRADA</b>	AC 100 – 120 V, AC 200-240V ,50Hz/60Hz
<b>EFICIENCIA(TÍPICO)</b>	>80%
<b>DIMENSIONES</b>	70mm x 38mm x30 mm

La fuente conmutada se encarga de la alimentación del maestro, esclavo1 y del circuito relé opto acoplado para el accionamiento de la válvula. Este accionamiento se implementó mediante la tarjeta relé opto acoplada de una salida, alimentada y estimulada desde el esclavo 2, encargado de manejar la apertura y cierre del circuito de la válvula normalmente cerrada tipo solenoide EBCHQ, cuya alimentación es de 110 VAC.



Ilustración 30 Tarjeta con optoacoplador y relé.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Tabla 15 Especificaciones tarjeta con optoacoplador y relé.

**TARJETA RELÉ OPTOACOPADOR X 1 SALIDA**

<b>CORRIENTE MÁXIMA DE CONTACTOS</b>	10A @250V AC y 10A @30V DC
<b>VOLTAJE DE CONTROL</b>	5 a 12 V DC
<b>VOLTAJE DE BOBINA</b>	5V DC
<b>PESO</b>	15g
<b>INDICADORES</b>	LED de encendido y LED de posición



Ilustración 31 Electroválvula solenoide.

Tabla 16 Especificaciones válvula solenoide.

**VÁLVULA SOLENOIDE EBCHQ**

<b>PRESIÓN DE TRABAJO</b>	0 a 7 Kg/cm <sup>2</sup> / 0-99.5 PSI
<b>VOLTAJE</b>	110 V AC
<b>ESTADO INICIAL</b>	Normalmente cerrado
<b>CONEXIÓN</b>	½" NPT
<b>PASO DE FLUJO</b>	16mm
<b>TEMPERATURA DE OPERACIÓN</b>	-5 a +80°C
<b>MEDIO DE TRABAJO</b>	Aire, agua, Aceite, Gas

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



Basado en el Framework para el desarrollo web *Django*, con todas sus herramientas que facilitan la codificación de soluciones de gran envergadura buscando la mejor experiencia

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

al usuario con sitios dinámicos, livianos de procesamiento y seguros, se implementó el sitio web llamado Vivero Forestal EIA, cuyo código se basa en el lenguaje de programación *Python* de carácter gratuito (*OpenSource*), que facilita las labores al ser un lenguaje simplificado y preciso, ahorrando costos computacionales importantes respecto a otros.

El sitio web tiene como finalidad canalizar toda la información, relacionada con el sistema de riego y el vivero forestal de la U.EIA como lo son: lectura de sensores, estado del cultivo, variables relacionadas e información suministrada por operarios, para hacer de este un sistema de monitoreo remoto con acceso a través de cualquier dispositivo con características importantes como:

- **Diseño amigable:** Una buena interfaz con capacidad de tener un manejo de la información, a través de gráficas y esquemáticos que representen en la pantalla la situación real del vivero y/o del sistema de riego con actualización constante.
- **Flexibilidad:** El sitio web cuenta con la capacidad de mostrar la información básica de los estados actuales del sistema, hasta niveles detallados que proporcionen información puntual requerida por determinado usuario, todo esto teniendo en cuenta que el acceso a este servicio web estará disponible para operarios y administradores y la información manejada por cada uno es de diferente índole.
- **Multipropósito:** Además de la interfaz con diseño agradable para el manejo de información, el sitio web complementado con el host tiene la capacidad de ser receptor de múltiple información de diferentes fuentes.

El sitio web cuenta con 5 secciones:

1. **Inicio:** es el 'Índex' del sitio o bienvenida al usuario, en el cual se despliegan una cantidad de variables meteorológicas y locativas de carácter informativas obtenidas mediante la librería *weather-api* de *Python*. (ver ilustración 34)
2. **Gráficos:** Contiene la información esquematizada del histórico del proyecto, el antes y el después respecto al gasto hídrico y la medición de la evapotranspiración como factor principal para el manejo del sistema de riego. (ver ilustración 35)
3. **Variables del Vivero:** Es la muestra gráfica y simbólica de todas las variables involucradas en el proceso mediante gauges y demás animaciones que representan las medidas de: dirección del viento, velocidad del viento, radiación, temperatura, humedad relativa y presión atmosférica. (ver ilustración 37)

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



4. **Eventos:** Muestra el histórico de actividades ejecutadas durante el desarrollo del proyecto como: siembras, riegos y marchitez, Cada una registrada a través de la plataforma móvil con datos de observaciones, fecha, hora y responsable. (ver ilustración 36)
5. **Señal en vivo:** Gracias a la cámara web interconectada mediante la raspberrypi3 y sus servicios y librerías *motion graphic* y *framerasp*, se logra levantar un servicio ejecutado por apache que permite generar un *streaming* local mediante una dirección IP proyectada en el sitio web. (ver ilustración 38)

## Arquitectura y diseño del Sitio

Después de acudir a varias fuentes bibliográficas, se define que el patrón de arquitectura que se implementa en el sitio web vivero EIA, es uno de los más usados en las comunidades *Python* y *django* ya que responde a las ventajas ofrecidas por el lenguaje y el *Framework* y explota todo su potencial al servicio de la solución a implementarse, y este es MVT (*Model, view, template*), este patrón resulta útil por que separa la lógica de datos ,lógica de negocio y la presentación (*template*) permitiendo constantes adiciones y mejoras sin afectar los demás módulos. (Librosweb, 2017)

El sitio web vivero EIA, se construyó bajo el patrón mencionado anteriormente con el lenguaje Python 2.7 como *back-End*, además se usó el Framework de desarrollo *Front-End* de código abierto llamado *Bootstrap*, con el fin de que se pueda desplegar el aplicativo en cualquier dispositivo de cualquier tamaño de pantalla, también cuenta con estilos y diseños gratuitos *Canvas-Gauges* y *Gentella Alela* extraídos de repositorios GitHub usados para la implementación de animaciones, visualización de los sensores, gráficos y funcionalidades del sitio.

La ruta para consultar el sitio es <http://viveroweb.cf/vivero/>

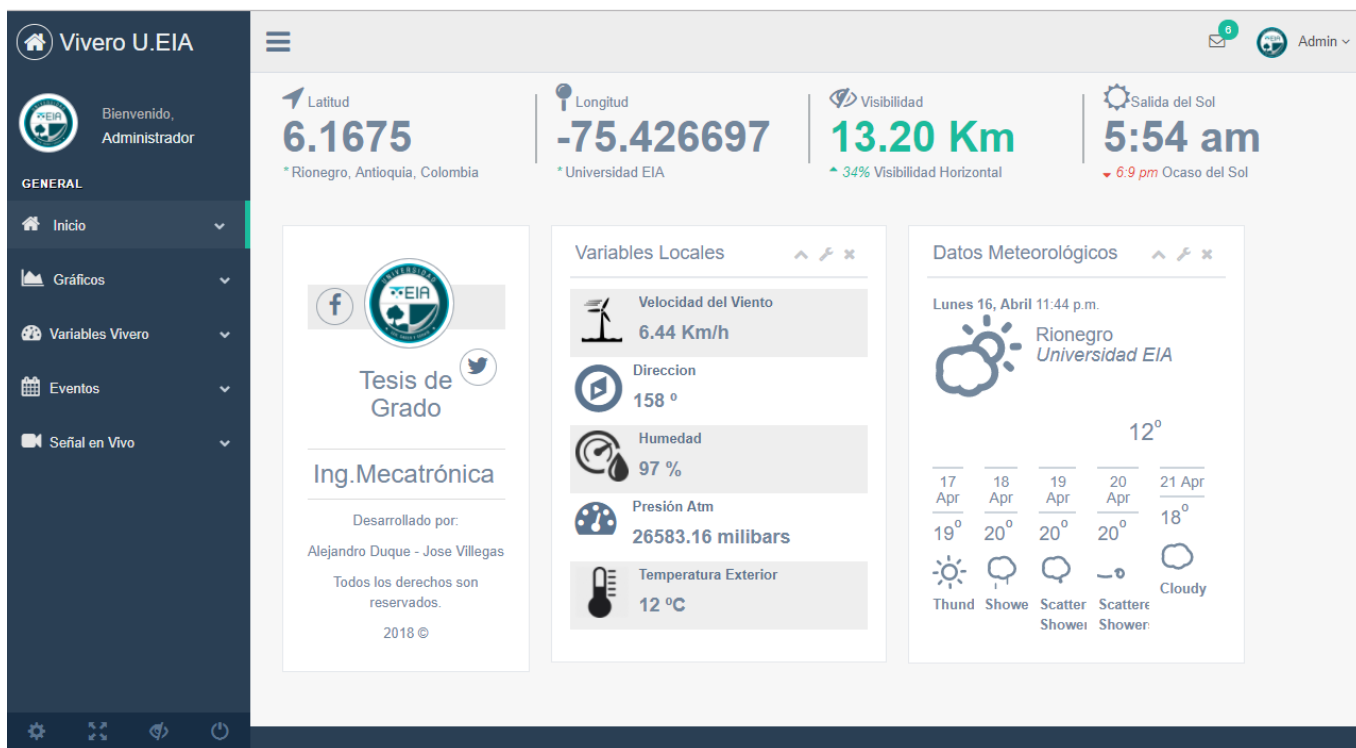


Ilustración 34 inicio(index) del sitio web.

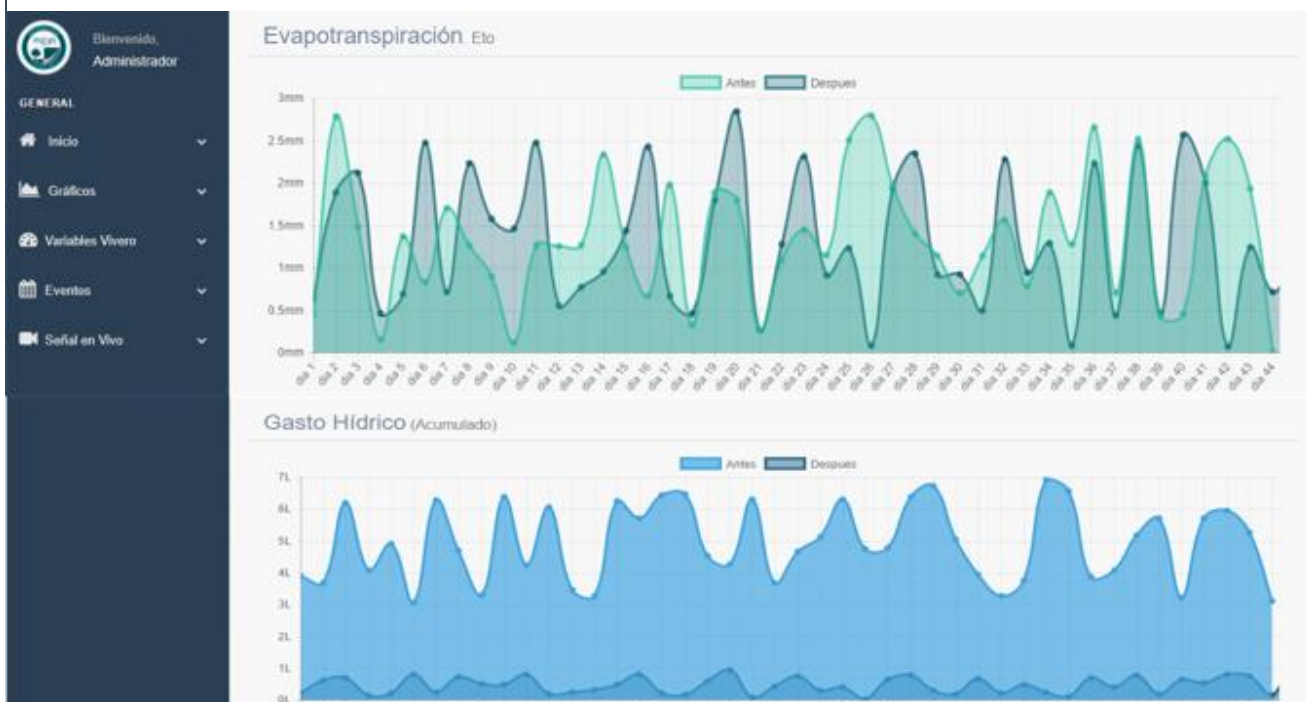


Ilustración 35 Antes y después de evapotranspiración y requerimiento hídrico.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

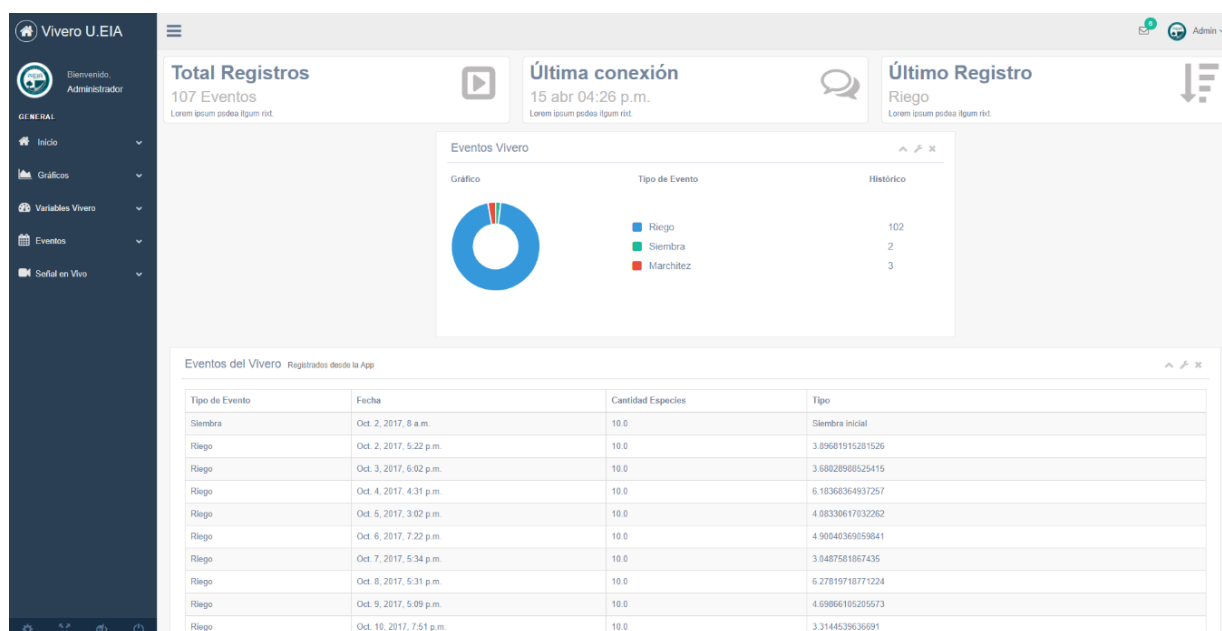


Ilustración 34 Eventos

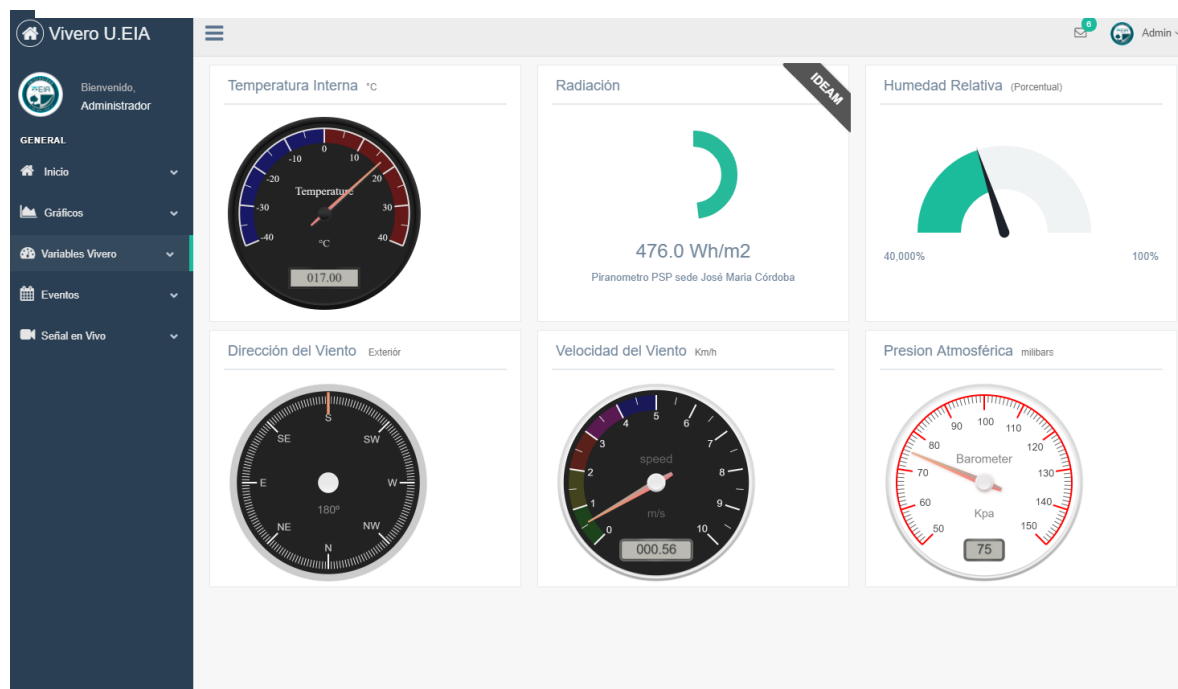
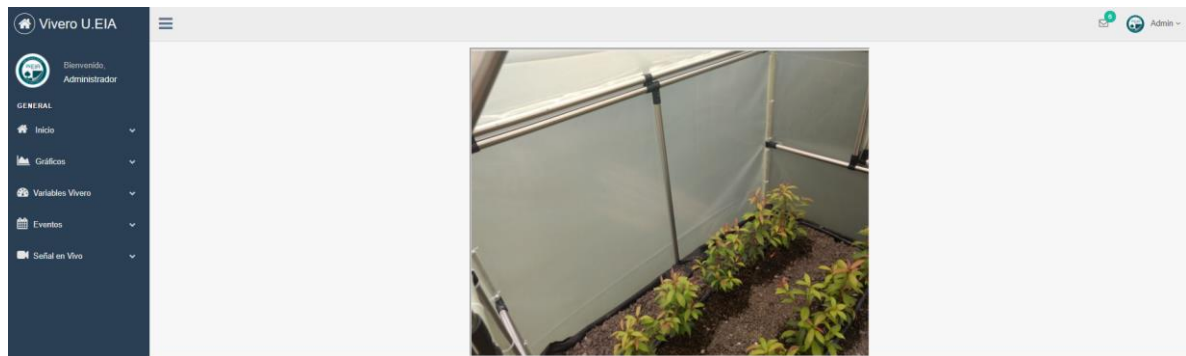


Ilustración 35 Variables del vivero en sitio web

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



*Ilustración 36 señal en vivo del vivero en sitio web.*

### 2.3.3 Plataforma móvil

ForestApp se construyó como una alternativa para el registro de eventualidades y actividades ejecutadas en el día a día por los encargados (operarios) del vivero, con la finalidad de hacer una bitácora actualizada que comprenda ejecuciones y observaciones diarias como: siembra de especies, riego y marchitez de estas. Permitiendo el manejo tabulado de la información del antes y el después del proyecto.

Este desarrolla para dispositivos Android bajo el entorno de desarrollo Android Studio, como una aplicación móvil de carácter profesional instalable en cualquier dispositivo, contando con un despliegue animado tipo *'splashscreen'* dando paso al inicio de sesión para diferenciación de usuarios y posterior acceso a menú principal que permite el registro y visualización de eventos con la captura de la hora de registro y encargado del proceso, además cuenta con acceso a la señal en vivo del vivero y a la visualización de las diferentes variables involucradas en el proceso.

### Arquitectura y diseño de plataforma móvil

El funcionamiento y codificación ForestApp se basó en el manejo de fragmentos y actividades propias ejecutadas mediante método *'intent'* por el lenguaje java y algunas funcionalidades de *Kotlin* como *back-End* del aplicativo.

La comunicación a la base de datos global se realizó mediante *web service* bajo el lenguaje de programación PHP en donde se despliegan y ejecutan todas las cadenas y sentencias SQL para el manejo de los datos. Desde el aplicativo móvil se usó el método GET como canal de comunicación y captura de variables.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



Ilustración 37 splash screen.



Ilustración 38 Loguin app móvil.

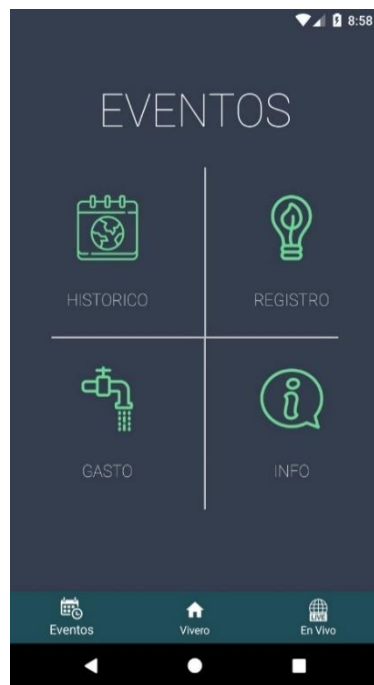


Ilustración 40 menú de registro de eventos.

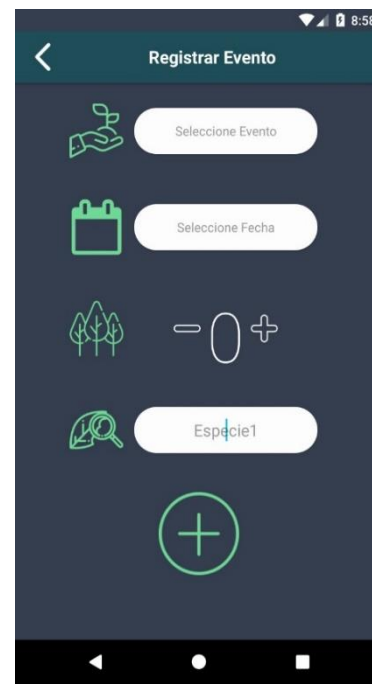


Ilustración 39 Registro de eventos

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

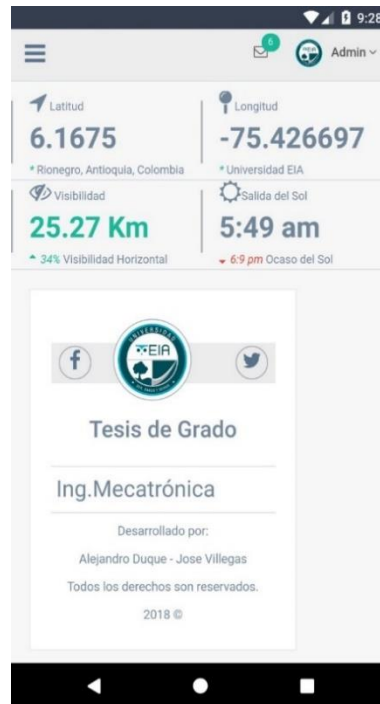


Ilustración 42 Visualización de carácter informativo app.



Ilustración 41 Visualización de registros.

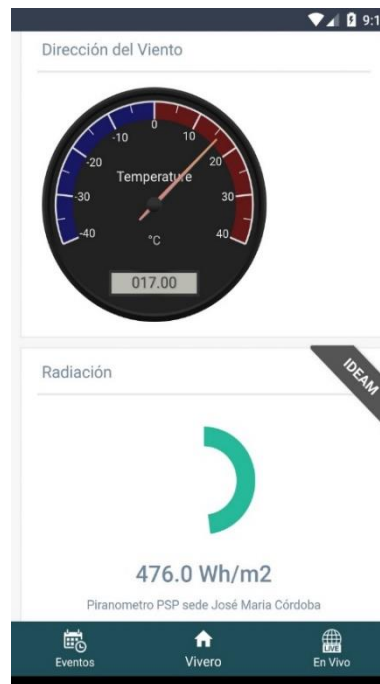


Ilustración 44 Visualización de variables de vivero.

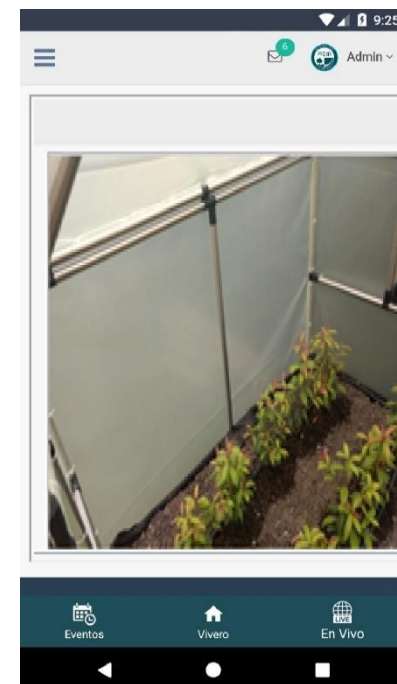


Ilustración 43 Video tiempo real.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

## 2.4 Modulo hidráulico

En esta sección se contempló todo lo relacionado con el sistema de riego y su diseño, implementación y montaje.

Inicialmente se hizo un análisis basado en la matriz de necesidades solo de los métodos de riego disponibles en el mercado.

*Tabla 17 Elección del sistema de riego (CIRAD, 2002).*

ASPECTOS\MÉTODO	INUNDACIÓN	ASPERSIÓN ALTA PRESIÓN	ASPERSIÓN BAJA PRESIÓN	GOTEO
<b>COSTO COMPRA</b>	5	1	1	1
<b>PRESIÓN DE BOMBEO</b>	5	1	4	3
<b>MANO DE OBRA PARA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>	4	3	3	2
<b>CARGA DE TRABAJO PARA OPERACIÓN</b>	1	5	3	5
<b>COSTO DE RIEGO POR HORA</b>	1	3	3	5
<b>EFICIENCIA</b>	1	5	3	5
<b>ANEXO</b>	Se debe tener presente la topología, no apto para terrenos accidentados	Genera problemas con plagas	Genera problemas con plagas	Conveniente para cultivos de alto valor y riego con nutrientes.

Este análisis perfiló y consolidó la elección del sistema de riego por goteo autocompensado como aquel que brinda mejor ahorro de recurso hídrico, requerimiento esencial para el alcance del objetivo del proyecto de carácter exploratorio.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

### 2.4.1 Sistema de Riego por Goteo

El sistema de riego se diseñó en base a las dimensiones de la cama cultivo y a la cantidad de plantas que se sembraron, en este caso se cuenta con una cama cultivo de dos metros de largo por metro y medio de ancho, con una profundidad de 20 centímetros.

El agua que se va a suministrar pertenece a la red de acueducto de la universidad EIA, dicha red cuenta con una presión y caudal de óptimas condiciones para abastecer un sistema de riego mediano, por lo tanto, no será necesario hacer el uso de dispositivos de bombeo o equipo de filtrado, pues las condiciones de calidad del agua son buenas.

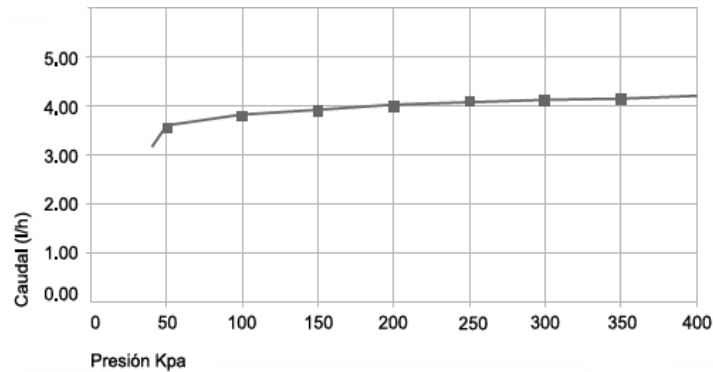
### Materiales

A continuación, se mostrará una lista con los componentes que se consideraron para la realización del sistema de riego nombrando y dando características relevantes de dispositivos de medición, actuadores, emisores, tubería y accesorios.

1. **Red proveedora:** es la encargada de abastecer y suplir las necesidades del sistema, en este caso ya es existente, no es necesario realizar dimensionamiento, se tiene una tubería de PVC (cloruro de polivinilo) de 1/2" (media pulgada).
2. **Actuador:** como es nombrado en la sección 2.2 se tiene como considera como actuador del sistema una electroválvula encargada de suministrar el recurso hídrico al sistema de riego, siguiendo las señales indicadas por el sistema de control.
3. **Sensor de caudal:** para mayores especificaciones técnicas de este sensor se pueden encontrar en la sección 2.2. Este sensor es el encargado de hacer la retroalimentación del sistema de control, además de llevar un registro del volumen de agua requerido por el sistema de riego.
4. **Red porta goteros:** esta red se alineó con las plantas, portando sobre ella los goteros, el material considerado para dicha red fue Polietileno (PE) de baja densidad, este es el tipo de material más recomendado y mayormente utilizado para este tipo de aplicaciones debido a su costo, flexibilidad y resistencia a la radiación solar, es compuesto por una mezcla de antioxidantes, negro de carbón y en su mayoría etileno polimerizado(Figueroa, 2013).
5. **Accesorios:** se consideró el uso de varios tipos de accesorio para la realización de la red, tales como codos, reducciones, empalmes y amarras.
6. **Emisores:** Son los encargados de hacer la distribución del agua atrás vez de toda la línea de riego controlando la salida de esta, existen diversas formas y tipos, indicados para fines específicos, en nuestro caso se usó goteros para dosificar el agua en gotas.



Como se mostró en el inicio del apartado 2.4, se eligió un sistema de riego por goteo auto compensado, garantizando así un caudal constante sobre todas las salidas de la red en un rango variable de presión. A continuación, se mostrará una gráfica de una de las marcas más representativas en la distribución de goteros actualmente en el mercado, para un gotero de 4L/h, la elección de este caudal se hace en base a las recomendaciones del documento. (Fuentes, 1991)



*Ilustración 45 Caudal vs presión del gotero.*

En la anterior figura se puede evidencia que el caudal se puede considerar constante ante la variación de presión, por esta razón no se le da tanta relevancia a la presión de alimentación de la línea del sistema de riego, descartando la necesidad de tener un indicador de presión en el sistema. Solo es necesario identificar la presión mínima de apertura y que la línea de alimentación sea capaz de alcanzar y garantizar dicha presión.

Los goteros usados son de la marca israelí Netafim, tienen la capacidad de trabajar entre una presión de 0,5 a 4 Bar, además de garantizar que la línea quede cargada y lista cada ciclo de riego.(NETAFIM, 2015)

La ecuación que caracteriza cada uno de los goteros es la siguiente:

$$Q(l/h) = K * H^x$$

$$Q(l/h) = 4 * H(kpa)^0$$

*Ecuación 23 Caracterización de los goteros.*

Donde:

K: Coeficiente característico del gotero.

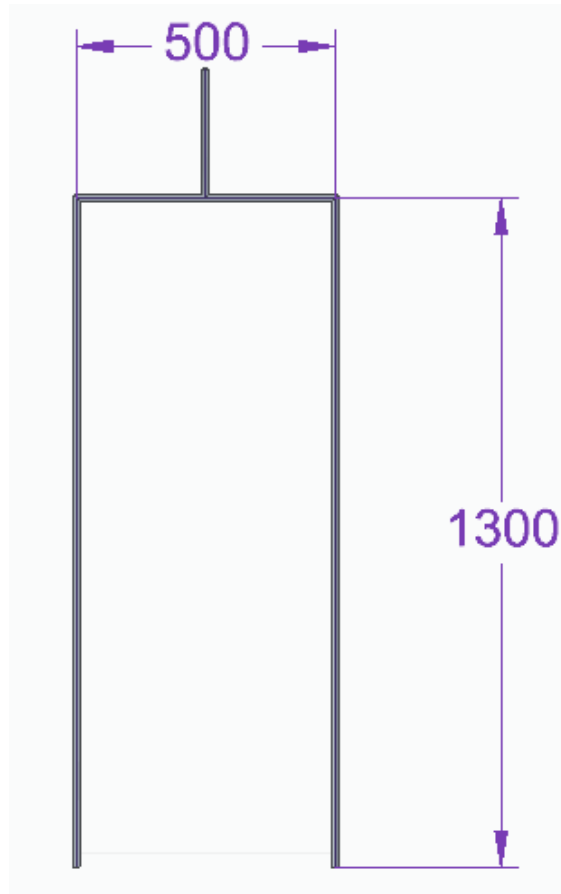
H: presión en KPa.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

X: Exponente de descarga.

#### 2.4.2 Consideraciones hidráulicas:

Se ha considerado el siguiente diseño de la red, donde se podrá abastecer de recurso hídrico diez plantas distribuidas de manera uniforme.



*Ilustración 46 Vista superior de distribución propuesta para tubería del sistema de riego en cama cultivos.*

Según (Universidad Jaume I, n.d.), la distribución de los goteros se debe realizar teniendo en cuenta el radio de humedad que genera cada gotero y para evitar barreras de sales o zonas deshidratadas que provocan problemas en la expansión de las raíces de la planta, por esto es recomendable que el radio de humedad de cada gotero coincida con el inmediatamente anterior y posterior de la línea en por lo menos un 15%. (Universidad Jaume I, n.d.), propone una ecuación que permite establecer una distancia entre goteros:

$$Se = r \left[ 2 - \frac{a}{100} \right]$$

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

*Ecuación 24 Solape entre radios de humedad.*

Donde:

A: Porcentaje de solape.

Se: Distancia entre goteros

r: Radio de humedad que provoca el gotero.

Teniendo de manera experimental un radio de humedad desde el foco de difusión de 135mm y queriendo tener un solape de 15 %, los goteros deberán tener una distancia entre sí de 249.75 mm, aproximándolos a 250 mm.

### **2.4.3 Dimensionamiento de la tubería:**

Se tiene un caudal de salida de 40 L/h, teniendo presente la siguiente expresión podrá calcularse la sección de la tubería.(del Mar Linares, n.d.)

$$Q = v * s$$

*Ecuación 25 Caudal de la tubería.*

Donde:

Q: Caudal en  $\frac{m^3}{s}$

V: Velocidad m/s

S: Sección  $m^2$

Para el cálculo del diámetro se tiene lo siguiente:

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * v}}$$

*Ecuación 26 Diámetro y la tubería.*

Teniendo como velocidad del agua en la tubería 0.8 m/s se tiene como diámetro mínimo de la tubería 4 mm, como no se logró conseguir en el mercado tubería de estas dimensiones se seleccionó tubería de polietileno (PE) de 10 mm ya que es el material más común y recomendado para estas aplicaciones y más cercano al resultado de dimensionamiento.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

#### 2.4.4 Pérdidas de cargas en la línea:

La pérdida de carga se puede considerar como la pérdida de presión de un fluido que viaja a través de una tubería, debido a la fricción de sus partículas entre sí y a su vez con su conductor, también se debe considerar las pérdidas de energía provocadas por los accesorios que se encuentran a lo largo del sistema de riego como lo son las bifurcaciones, codos, filtros, válvulas entre otras (Carrazón Alocén, 2007)

#### Perdida de carga por contacto con tubería:

Para este cálculo se usó la siguiente formula que aplica para tramos rectos de tubería. (Carrazón Alocén, 2007)

$$\Delta P = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

*Ecuación 27 Pérdida de carga por fricción.*

Donde:

$\Delta P$ : es la pérdida de carga dado en m.c.a(metros de columna de agua).

L: longitud del tramo (m).

D: diámetro interior de la tubería (m).

V: velocidad del agua en el interior del conducto (m/s).

g: gravedad ( $\frac{m^2}{s}$ ).

f: factor de fricción de Darcy-Weisbach.

Conociendo todas las variables de esta ecuación solo queda por obtener el factor de fricción usando el diagrama de *Moody* en función de la rugosidad del material y el número de Reynolds, que da como resultado 0.018, con longitud de tubería de tres metros, diámetro de diez milímetros y velocidad de 0.8 m/s, dando como resultado una pérdida total de presión por fricción de 0.17 m.c.a a lo largo de la línea de distribución.

#### Perdida de carga por accesorios:

Para tener un acercamiento a las pérdidas de cargas generadas de manera local por los accesorio de la línea se tiene la siguiente ecuación empírica: (Mora Navas, n.d.)

$$\Delta P = K \frac{v^2}{2g}$$

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

*Ecuación 28 Pérdida de carga por accesorios.*

Donde:

V: Velocidad del agua en el interior del conducto (m/2).

g: Gravedad ( $\frac{m^2}{s}$ ).

K: factor adimensional de pérdida.

En la siguiente tabla se muestran los accesorios usados en la red hidráulica con su respectivo coeficiente de pérdida suministrado por el proveedor.

*Tabla 18 Pérdida por accesorios.*

CANTIDAD	ACCESORIO	K	PERDIDA EN M.C.A
1	Válvula	1.5	0.048
1	Bifurcación en T	0.1	0.0032
2	Codo 90°	0.4	0.026

**Pérdida de presión por goteros:**

Para la pérdida de presión en los goteros se expresó de manera equivalente a una pérdida por fricción, agregando un valor de distancia a la red por cada gotero que se tenga en la misma.

En este caso por cada gotero se agregara 0.35 metros a la red, dando como resultado un pérdida de 0.2 m.c.a.(Universidad Jaime I, n.d.)

La pérdida total que se tiene en el sistema de riego es la suma de la pérdida por los accesorios, la pérdida por fricción y la pérdida por los goteros, dando como resultado total 0.447 m.c.a, valor que es posible despreciar sabiendo que el sistema es alimentado con una presión de aproximadamente 25 m.c.a según las normativas de diseño de acueductos de EPM. (EMP, 2018)

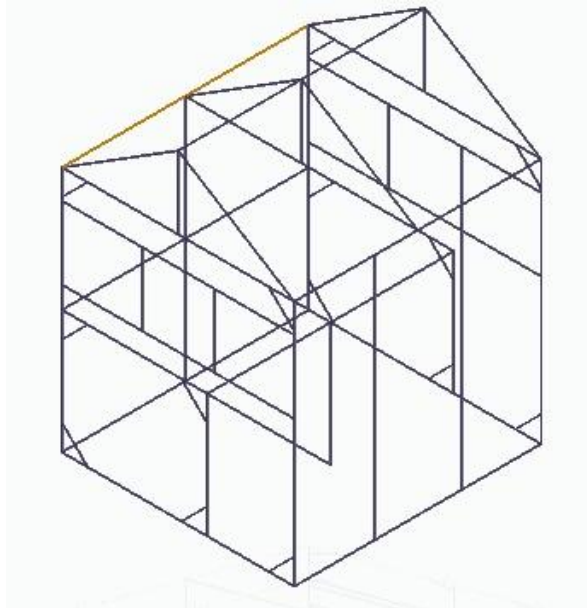
## **2.5 Construcción y ensamble**

Después de las todas las consideraciones y procesos de selección descritos en las secciones 2.1 ,2.2, 2.3, se inició la disposición del espacio para montaje del vivero forestal contiguo al antiguo vivero, haciendo solicitudes al área de tecnología de la universidad EIA,

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

para la disponibilidad de red y conectividad en el lugar y acondicionando la única fuente de agua disponible para acoplar el esclavo 2 con el monitoreo del recurso hídrico.

La fase de montaje y despliegue del vivero físico se facilitó porque, su característica modular permitió ensamblar una a una las partes sin necesidad de soportes de acuerdo con el diseño previo realizado en el software CAD, en dónde se definió las dimensiones y material a usarse.



*Ilustración 48 diseño en Solid Edge ST9.*



*Ilustración 48 Diseño en Solid Works.*

El diseño cuenta con dos ventanas laterales, una puerta frontal, techo con caída trasera y delantera de igual medida y espacio suficiente para el ingreso de personal. Este diseño se mostró en el departamento de administración de los laboratorios, buscando obtener un apoyo económico para la compra de los materiales, se presentó varias cotizaciones tanto de materiales como de diseño y construcción de toda la estructura.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Toda la estructura se realizó en aluminio en perfilera de 28 mm de diámetro y un espesor de un milímetro, cuenta con dos ventanas, en cada lateral y una puerta corrediza en la parte frontal. En base al diseño posterior se procedió al corte de material y ensamble de la estructura.



*Ilustración 50 Proceso de ensamble.*

Posterior a la estructura, se hizo la protección con la cubierta y la instalación de la cama cultivo para ubicar el sustrato con las especies forestales sembradas en grupos de 5 plantas por dos filas igualmente espaciadas como se consideró en módulo hidráulico.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.





*Ilustración 53 Instalación de cobertura.*



*Ilustración 51 Instalación de cama cultivo.*



*Ilustración 52 Cama cultivo con sustrato.*

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.





*Ilustración 54 siembra de las plantas.*

Contando con la estructura, cubierta y el cultivo montado, se procedió a realizar el acople de la estación meteorológica 2 metros arriba del cultivo como lo sugiere (FAO, 1990) y (Michael & Anchundia, 2015)



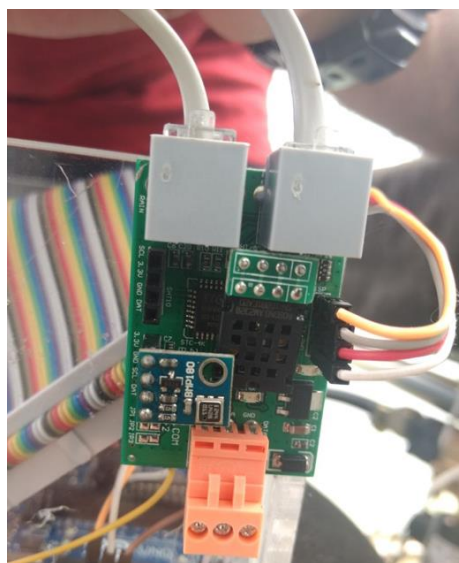
*Ilustración 55 Vivero en pruebas.*



*Ilustración 56 Estación meteorológica.*

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Finalmente se hizo el montaje del sistema de riego y adquisición de datos con su respectiva alimentación, conexiones Maestro-esclavos y puesta en marcha el sistema de riego autocompensado en el vivero forestal EIA.



*Ilustración 58 Módulo de estación meteorológica.*

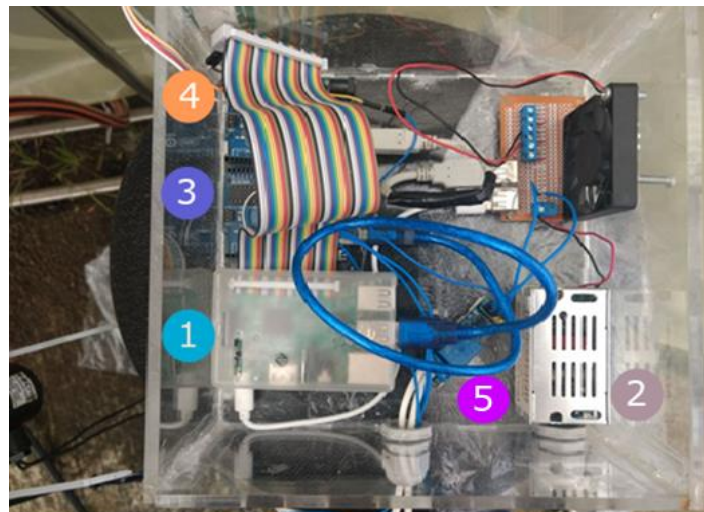


*Ilustración 57 Desarrollo de pruebas.*

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



*Ilustración 59 Vista en detalle de la ubicación de los emisores respecto a la planta.*



- |                        |                     |
|------------------------|---------------------|
| 1 Maestro RaspberryPi3 | 3 Esclavo 1 Arduino |
| 2 Fuente Conmutada 5v  | 4 Esclavo 2 Arduino |
| 5 Relé optoacoplado    |                     |

*Ilustración 60 Distribución de componentes.*

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

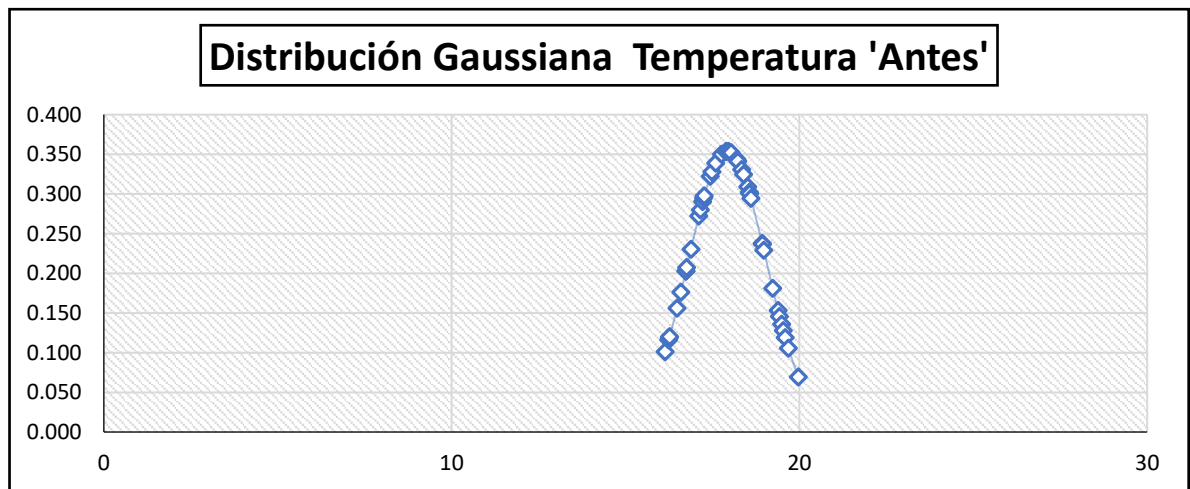


### 3. Presentación y discusión de resultados

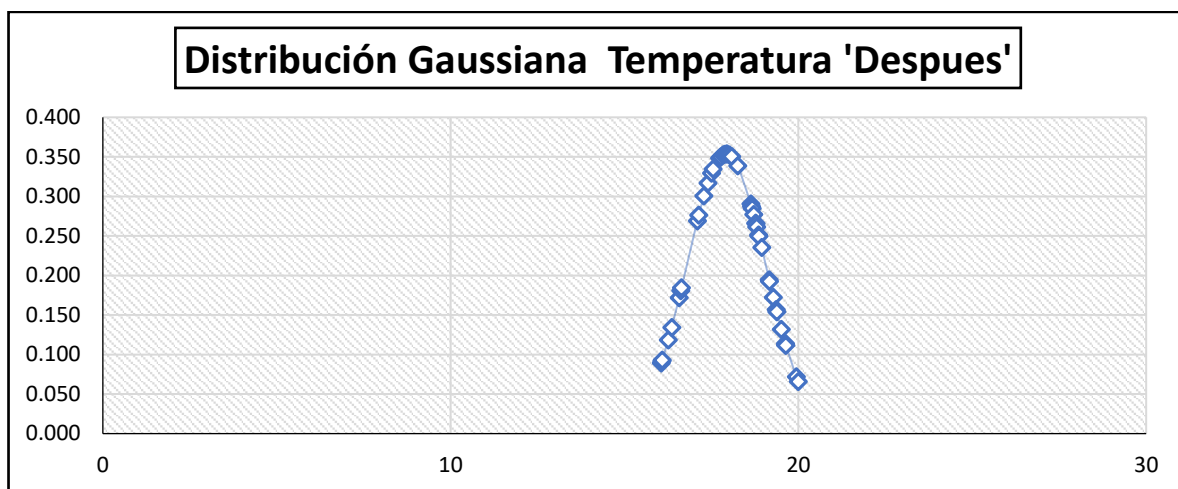
En el sistema de riego por goteo autocompensado del vivero forestal EIA, se relacionó dos momentos trascendentes para el análisis del comportamiento y alcance de objetivos planteados.

En primera instancia se hizo un registro de eventos y gasto hídrico para un grupo piloto de 10 plantas tipo forestal, siguiendo la técnica tradicional de ambiente de propagación (antigua casa sombra vivero EIA) y riego manual, este periodo de tiempo se denominará en este análisis como 'Antes'. Posteriormente se hizo el mismo análisis de datos y variables, con el proyecto implementado y las mediciones establecidas, a este periodo de tiempo se denominará en este análisis como 'Después'.

Ambos periodos contaron con la misma duración de días (44) el primero entre los días 2 de octubre - 15 noviembre de 2017 y el segundo entre el 2 de marzo-15 abril de 2018, teniendo registros diarios de las variables climáticas generales. Haciendo un análisis estadístico de datos se encontró que la media de ambos periodos respecto a temperatura y humedad exterior es muy similar  $17.927^{\circ}\text{C}$  para antes y  $18.147^{\circ}\text{C}$  para después con una dispersión en los datos también de igual proporción  $1.2^{\circ}\text{C}$ . Por lo tanto, se pudo afirmar que desde las condiciones climáticas como se puede evidenciar en las gráficas la comparación de los periodos de tiempo se puede tomar en igualdad de condiciones respecto a necesidad hídrica y tasa de mortandad.



La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



Para el cumplimiento del objetivo del proyecto se analizó el gasto hídrico día a día durante ambos periodos y de esta manera verificar el comportamiento de las técnicas manuales y tradicionales con los métodos basados en tecnologías y análisis de datos. A continuación, se relaciona el gasto hídrico promedio y variables significativas diario durante ambas etapas del proyecto:

*Tabla 19 Muestra de resultados, comparando antes y después.*

VARIABLE	ANTES	DESPUES	DIFERENCIA
<b>GASTO HIDRICO PROMEDIO DIARIO</b>	4.94 Litros	0.46 Litros	89.90%
<b>TASA MORTANDAD</b>	30%	0%	100%
<b>TEMPERATURA PROMEDIO</b>	17.927°C	18.147°C	7.74%
<b>HUMEDAD PROMEDIO</b>	77.59%	78.36%	0,01%

Respecto al gasto hídrico se pudo evidenciar una amplia reducción diaria en relación al volumen de agua utilizados por los operarios del vivero manualmente, situación que se ve fundamentada y soportada por el número de especies reportadas como marchitas durante este periodo a través de la app móvil, contando al final del análisis con solo el 70% de la cantidad de especies sembradas, lo que evidencia el mal manejo del riego y condiciones a las que se expuso el sistema dentro de los niveles de inundación excesiva sometiendo al

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

cultivo a un estrés hídrico (Jimenez, Moreno, & Magnitskiy, 2012) en relación a los altos niveles de humedad que experimenta el lugar acompañado de bajas temperaturas.

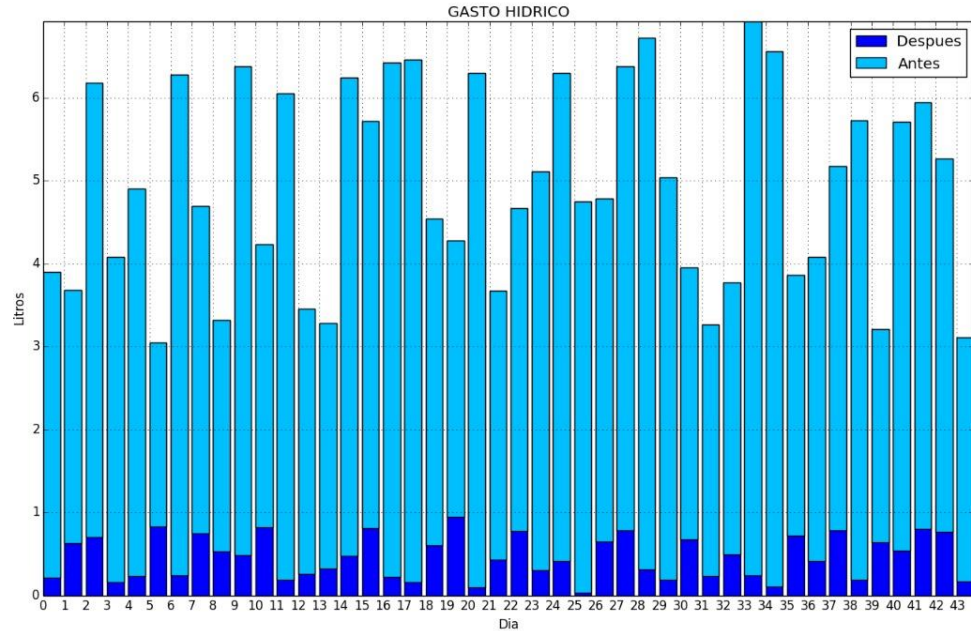


Ilustración 61 Comparativo de gasto hídrico litros/día.

La diferencia calculó mediante un error porcentual entre los promedios de datos

$$Ahorro = \frac{\sum_{i=1}^n X_{i_{despues}} - \sum_{i=1}^n X_{i_{antes}}}{\sum_{i=1}^n X_{i_{antes}}} * 100$$

Ecuación 29 Porcentaje de ahorro de agua.

X=Variable a comparar

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

## **4. Conclusiones y consideraciones finales**

Es importante tener en cuenta para la construcción de un vivero es de vital importancia considerar las condiciones ambientales que experimentará, el recurso hídrico y eléctrico disponible. Además, realizar el diseño de la estructura en función del ambiente de propagación que se desea implementar.

La adquisición de datos debe contemplar los tiempos de respuesta de los sensores y protocolos de comunicación implementados para no generar errores de lectura y valores sobredimensionados.

Para el diseño del sistema de riego, es importante considerar las diferentes formas de pérdida de carga en las líneas de abastecimiento de los emisores, para diseñar una red que logre satisfacer los requerimientos del cultivo.

El uso y codificación de herramientas móvil y web permite la visualización y registro oportuno de la información desde cualquier dispositivo común, generando un valor agregado importante al proyecto y a la experiencia de los autores.

Mediante el uso de software libre y tecnología a bajo costo, es posible implementar soluciones articuladas de ingeniería que potencialice los procesos de producción

El cálculo de la necesidad hídrica se puede acercar más a los valores reales acoplando un sensor de radiación neta a la estación meteorológica.

El sistema de riego implementado en el vivero forestal EIA, cumplió con el objetivo de su construcción arrojando resultados con amplio margen de ahorro en recurso hídrico del 89,9% y reducción en la tasa de mortandad en un 100% lo cual soporta la implementación de este tipo de tecnologías para el beneficio del agro colombiano.

### **Recomendaciones a futuros trabajos**

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

## 5. REFERENCIAS

- ADAFRUIT. (2016). BMP085 Barometric Pressure/Temperature/Altitude Sensor- 5V ready ID: 391 - \$19.95: Adafruit Industries, Unique & fun DIY electronics and kits. Retrieved May 6, 2018, from <https://www.adafruit.com/product/391>
- Agudelo, R., Castellanos, D., & Medina, M. (2005). Automatización del sistema de riego para el cultivo de flores tipo exportación. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Automatizacion+del+sistema+de+riego+para+el+cultivo+de+flores+tipo+exportacion#0>
- Aguila, F. M., Sinn, H., & Kleisinger, Y. S. (2008). INFORMACIÓN Introducción Una creciente problemática hídrica se esta presentando cada día en mas regiones del mundo . El capacitación para operar y alimentar de datos e información estos sistemas ( Aguila , 2003 ). Otra sistemas tienen sobre el consumo de.
- Allen. (2006). Evotranspiración del cultivo en condiciones no estándar ETc bajo condiciones de estres Hídrico.
- Ambientales, C., & Cap, V. (n.d.). Condiciones ambientales del vivero. cap 1 temperatura. *Manual De Viveros Para La Producción De Especies Forestales En Contenedor*.
- Aosong ELelectronics Co, L. (2015). Dht22 (Am2302), 22, 1–10. Retrieved from <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf%0Ahttps://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/Digital+humidity+and+temperature+sensor+AM2302.pdf>
- Aux Moreno, J., & Benavides Lasso, L. M. (2015). Control Automatizado De Un Sistema De Riego Y Fertirriego, 95.
- Basile, E. D. Z. P. A. (2008). Uso de funciones de pedotransferencia para la estimación de parámetros hidráulicos en suelos limosos ( Llanura Argentina ), 71–79.
- Bosch Sensortec. (2013). BMP180 Digital pressure sensor, (April), 28.
- Camargo García, M. del rosario. (2013). SISTEMA DE CONTROL DE RIEGO AUTOMÁTICO MEDIANTE EL MONITOREO DE HUMEDAD DEL SUELO VIA INTERNET.
- Carletti, E. (2017). Comunicación - Bus I2C - Robots Argentina. Retrieved May 4, 2018, from [http://robots-argentina.com.ar/Comunicacion\\_busI2C.htm](http://robots-argentina.com.ar/Comunicacion_busI2C.htm)
- Carrazón Alocén, J. (2007). Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego. FAO.
- Castro-Popoca, M., Águila, M., Quevedo, A., Kleisinger, S., Tijerina, L., & Mejía, E. (2008). Sistema de riego automatizado en tiempo real con balance hídrico, medición de

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



humedad del suelo y lisímetro. *Agricultura Técnica En México*, 34(4), 459–470. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Castro Popoca, M., Águila Marín, F. M., Quevedo Nolasco, A., Kleisinger, S., Tijerina Chávez, L., & Mejía Sáenz, E. (2008). Sistema de riego automatizado en tiempo real con balance hídrico, medición de humedad del suelo y lisímetro. *Agricultura Técnica En México*, 34(4), 459–470. Retrieved from [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0568-25172008000400009&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172008000400009&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

CCM. (2018). USB (Bus de serie universal). Retrieved May 4, 2018, from <https://es.ccm.net/contents/407-usb-bus-de-serie-universal>

Concha, J. C. C. (2009). Diseño De Un Sistema De Riego Por Goteo Controlado Y Automatizado Para Uva Italia.

del Mar Linares, R. (n.d.). Diseño Hidráulico Del Riego.

DFROBOT, D. (2016). Weather\_Sensor\_Assembly\_Updated.pdf.

EMP. (2009). Normas de Diseño de Sistemas de Acueducto de EPM.

FAO. (1990). Evapotranspiración de referencia (ET o ) Ecuación de FAO Penman-Monteith. *Evapotranspiración Del Cultivo*, 86.

Figueroa, E. P. (2013). Diseño de un sistema de riego por goteo automatizado.

Fuentes, J. L. (1991). INSTALACION DE RIEGO POR GOTEO. *HOJAS DIVULGADORAS, NUMC.4-5/9*.

Fundación de la Innovación Bankinter. (2011). El Internet de las Cosas. *Fundación de La Innovación Bankinter*, (2), 78. Retrieved from [http://boletines.prisadigital.com/El\\_internet\\_de\\_las\\_cosas.pdf%5Cnhttp://www.fundacionbankinter.org](http://boletines.prisadigital.com/El_internet_de_las_cosas.pdf%5Cnhttp://www.fundacionbankinter.org)

Gómez Castro, A. A. (2009). Determinación de la curva de retención de agua de suelos granulares usando redes neuronales artificiales, 110.

ICA. (n.d.). Resolucion 2457 ICA - VIVEROS.pdf.

Ilahi, W. F. F. (2009). Evapotranspiration Models in Greenhouse. *Master Thesis-Agricultural and Bioresearch Engineering at Wageningen University, The Netherlands*, (August), 52.

Jimenez, J. de la C., Moreno, L. P., & Magnitskiy, S. (2012). Respuesta de las plantas a estres por inundacion. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 6(1), 96–109.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

KATSUHIKO OGATA. (1998). *INGENIERIA DE CONTROL MODERNA*.

Librosweb. (2017). El libro de Django 1.0. Retrieved April 21, 2018, from [http://librosweb.es/libro/django\\_1\\_0/capitulo\\_5/el\\_patron\\_de\\_diseno\\_mtv.html](http://librosweb.es/libro/django_1_0/capitulo_5/el_patron_de_diseno_mtv.html)

Michael, J., & Anchundia, R. (2015). Telemetría de Estación Meteorológica, (1). Retrieved from [http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/31545/Telemetría de Estación Meteorológica.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/31545/Telemetría%20de%20Estación%20Meteorológica.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Mora Navas, A. (n.d.). Sistema de riego, 1–30.

NETAFIM. (2015). DRIPPERS TECHNICAL DATA, 1–44.

NXP Semiconductors. (2014). UM10204 I<sup>2</sup>C-bus specification and user manual, (April), 64.

Orozco, A. (2010). EFFICIENT WATERING MANAGEMENT USING CAPACITANCE PROBES, 2(625), 56–66.

Periz, F. J. de agricultura pesca y alimentación). (2002). VIVEROS FORESTALES PARA PRODUCCION DE PLANTA A PIE DE REPOBLACIÓN. Retrieved March 5, 2016, from [http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1993\\_06.pdf](http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_06.pdf)

Pineda, M. C., Suelos, E. N., Cuenca, D. E. L. A., & Lago, D. E. L. (2011). FUNCIONES DE PEDOTRANSFERENCIA PARA ESTIMAR LA RETENCIÓN DE HUMEDAD EN SUELOS DE LA CUENCA DEL LAGO DE VALENCIA, (July 2015).

Quero, E., & López, J. (1997). Programación en lenguajes estructurados, 414. Retrieved from <http://books.google.com/books?id=cNX9AAAACAAJ&pgis=1>

Raspbian. (2012). RaspbianFAQ - Raspbian. Retrieved April 22, 2018, from <http://www.raspbian.org/RaspbianFAQ>

Ruiz Álvarez, O., Ramírez, R. A., Peña, M. V., Capurata, R. O., & López, R. L. (2012). Balance Hídrico Y Clasificación Climática Del Estado De Tabasco , México. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo*, 28(1), 1–14. Retrieved from <http://www.universidadyciencia.ujat.mx/sistema/documentos/volumenes/28-1-2012/714.pdf>

Sanchez, R. del Á., & Vazquez, H. (2006). Cálculo de volúmenes de agua para riego por goteo en el cultivo de jitomate en la planicie huasteca. *INIFAP, Centro de Investigación Regional Del Noroeste*, 2–3.

Santos Pereira, L., De Juan Valero, J. A., Picornell Buendía, M. R., & Tarjuelo Martín.Benito, J. M. (2010). *El Riego Y Sus Tecnologías*.

Spronck, P. (2017). The Coder ' s Apprentice, 398.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

StackOverflow. (2017). The Incredible Growth of Python | Stack Overflow. Retrieved April 22, 2018, from <https://stackoverflow.blog/2017/09/06/incredible-growth-python/>

Universidad Jaume I. (n.d.). FUNDAMENTOS DEL DISEÑO. In *Ingeniería Técnica Agrícola* (p. 56).

Urrea, L., Rodríguez, M., Molina, M., & Olalla, M. D. S. (2006). MEDIDA DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS DEL MAIZ DULCE UTILIZANDO UN LISIMETRO DE PESADA, 2–3.

Vickery, M. L. (1991). *ECOLOGÍA DE PLANTAS TROPICALES*.

## 6. Anexos

### 6.1 Código de Python para lectura de datos e implementación del riego

```
# -- coding: utf-8 --
import smbus #libreria para i2c
import time # libreria para manejo de segundos
import serial #comunicacion serial
import math #libreria para operaciones matematicas
import struct
from datetime import datetime #libreria para manejo de fecha
import thread
from decimal import Decimal
import RPi.GPIO as GPIO #manejo de puertos digitales raspberry
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(4,GPIO.OUT)

arduino=serial.Serial('/dev/ttyACM0',baudrate=9600, timeout = 3.0) #declara arduino y puerto
arduino.open() #apertura

import MySQLdb as db #libreria para uso de base de datos
#declara variabls para conexion a db
HOST = "74.208.244.104"
PORT = 3306
USER = "viveroremoto"
PASSWORD = "*****"
DB = "vivero"
bus = smbus.SMBus(1) #uso de i2c

address = 0x06 #declara esclavo y su direccion(mismo de arduino)
def get_data(): #funcion para lectura de esclavo1
    return bus.read_i2c_block_data(address,0);

def get_float(data, index): #funcion de conversion de datos recibidos
    bytes = data[4*index:(index+1)*4]
    return struct.unpack('f', "".join(map(chr, bytes)))[0]
```

```

#funcion encargada de recibir los datos del dia y hacer el calculo de la necesidad hidrica y
almacenamiento de datos
def calcularinsertar(tempmax,tempmin,pres,u2,dire,hum,rad):
    #evapotranspiracion calculo
    temp=(tempmax+tempmin)/2
    delta=(4098*(temp)0.6108*math.exp((17.37*temp)/(temp+ 237.3)))/((temp+273.3)2)
    psico=((1.013*10-3)*pres)/(0.622*2.445)
    Eomax=0.6108*math.exp((17.37*tempmax)/(tempmax+ 237.3))
    Eomin=0.6108*math.exp((17.37*tempmin)/(tempmin+ 237.3))
    Eo=0.6108*math.exp((17.37*temp)/(temp+ 237.3))
    Es=(Eomax-Eomin)/2
    Ea=Eo*hum/100
    Eto=(0.408*delta*(rad)+(900/(temp+273))(Es-Ea))/(delta+psico(1+0.34*u2))
#inserta variable individualmente en su tabla
connection = db.connect(host=HOST, port=PORT,user=USER, passwd=PASSWORD, db=DB)
dbhandler = connection.cursor()
dbhandler.execute("""INSERT INTO vivero_evapotranspiracion (fecha,valor) VALUES
(%s,%s)""",(datetime.now(),Eto))
connection.commit()
dbhandler.execute("""INSERT INTO vivero_direccionviento (fecha,valor) VALUES
(%s,%s)""",(datetime.now(),dire))
connection.commit()
dbhandler.execute("""INSERT INTO vivero_humedadrelativa (fecha,valor) VALUES
(%s,%s)""",(datetime.now(),hum))
connection.commit()
dbhandler.execute("""INSERT INTO vivero_presionatmosferica(fecha,valor) VALUES
(%s,%s)""",(datetime.now(),pres))
connection.commit()
dbhandler.execute("""INSERT INTO vivero_temperatura (fecha,valor) VALUES
(%s,%s)""",(datetime.now(),temp))
connection.commit()
dbhandler.execute("""INSERT INTO vivero_velocidadviento (fecha,valor) VALUES
(%s,%s)""",(datetime.now(),u2))
connection.commit()
return(Eto)
def insertaflujo(Vreal):
    connection = db.connect(host=HOST, port=PORT,user=USER, passwd=PASSWORD, db=DB)
    dbhandler = connection.cursor()
    dbhandler.execute("""INSERT INTO vivero_gastohidrico (fecha,valor) VALUES
(%s,%s)""",(datetime.now(),Vreal))
    connection.commit()

def mideflujo(): # function que hace llamdo al esclavo dos solicitando sus datos
    lectura=""
    arduino.write('P') #solicita al esclavo2
    time.sleep(0.1)

```

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

```

while arduino.inWaiting() > 0: #mientras Arduino este enviando datos se hace lectura
    lectura += arduino.read(1)
return(lectura[0:4])

def valvulaon(Vteor): #funcion que activa el sistema de riego y el control tiene como entrada el volumen
deseado que se quiere suministrar.
    print "NECESIDAD HIDRICA" +str(Vteor)
    GPIO.output(4,GPIO.HIGH) #acciona valvula
    condicion=4 #para entrar se genera una condicion que se cumpla
    while condicion > 3:
        FlujoReal=float(mideflujo()) #llama funcion que solicita a esclavo1
        print FlujoReal
        time.sleep(0.1)
        Vreal=FlujoReal
        if Vteor-Vreal < 0.0001: #control comparando volumenreal con teorico
            condicion=2 #se cumple con el riego y se sale del ciclo while
    GPIO.output(4,GPIO.LOW) #cierra valvula
    print("leidos por sensor"+str(Vreal))
    insertaflujo(Vreal)
    arduino.write('R') #Limpiar datos
    print"RIEGO REALIZADO"

#limpia los arreglos que almacenan valores diarios
direccion=[]
velocidad1m=[]
velocidad5m=[]
temperatura=[]
lluvia1h=[]
lluvia24h=[]
humedad=[]
presion=[]
while True:
    try:
        #se hace la conexion al servidor y BASE DE DATOS
        connection = db.connect(host=HOST, port=PORT,user=USER, passwd=PASSWORD, db=DB)
        dbhandler = connection.cursor()
        print "conexion realizada"
        i=0
        for i in range(23): # se toma 24 datos uno cada hora para cumplir con riego diario
            data = get_data() #invoca funcion de lectura y posteriormente inserta dato a dato en su
            respectivo arreglo
            direccion.append(get_float(data,0))
            velocidad1m.append(get_float(data,1))
            velocidad5m.append(get_float(data,2))
            temperatura.append(get_float(data,3))

```

```

        lluvia1h.append(get_float(data,4))
        lluvia24h.append(get_float(data,5))
        humedad.append(get_float(data,6))
        presion.append(get_float(data,7))
        time.sleep(3600) #se espera una hora para tomar siguiente lectura
    print "datos diarios tomados"
# lee radiacion de la base de datos extraida de la estacion meteorologica del aeropuerto
sqlradiacion=str("%")+str(datetime.now())[0:10]+str("%")
sql="SELECT sum(valor) FROM vivero_radiacion Where fecha like '%"
dbhandler.execute(sql)
# se convierte a Mj/m2
rad1= dbhandler.fetchone()[0]
rad=int(rad1/24)*0.0036
# valores maximos y minimos para calcular evapotranspiracion
tempmax=max(temperatura)
tempmin=min(temperatura)
# Presión
pres=max(presion)/100
# Aire
u2=(min(velocidad1m)+max(velocidad5m))/2
# Humedad
hum=(min(humedad)+max(humedad))/2
# direccion
dire=direccion[-2]
print "Calculando Necesidad Hidrica"
eto=calcularinsertar(tempmax,tempmin,pres,u2,dire,hum,rad) #invoca funcion de calculo y guarda
datos
kc=0.9 #coeficiente del cultivo
et=eto*kc #calcula evapotranspiracion
## LAMINA DE RIEGO
LR=et/0.9 #calcula lamina de riego 0.9 es el valor de eficiencia de riego por goteo
## Necesidad hidrica
AreaCultivo=2*1.5
Vteor=LR*AreaCultivo #calcula volumen a suministrar
#acciona sistema de riego
valvulaon(Vteor) # llama funcion de riego y sistema de control

```

```
:  
    #Limpia datos  
    del velocidad1m[:]  
    del velocidad5m[:]  
    del temperatura[:]  
    del lluvia1h[:]  
    del lluvia24h[:]  
    del humedad[:]  
    del presion[:]  
  
except Exception as e:  
    print e
```



## 6.2 Código de esclavo uno Arduino

```
#include <Wire.h> //libreria de i2c
#include <SoftwareSerial.h> // libreria para crear serial aux
#define SLAVE_ADDRESS 0x06 //define direccion del esclavo
#define FLOATS_SENT 8 //var//ables a enviar
char databuffer[37]; //tamaño de caracteres recibidos
double temp;
// declara nuevo serial : TX = digital pin 10, RX = digital pin 11
SoftwareSerial portOne(10, 11);
float data[FLOATS_SENT]; #declara arreglo para almacenar datos

void getBuffer() //verifica disponibilidad de datos de la tarjeta de estacion meteorological y toma datos
{
  int index;
  for (index = 0; index < 37; index++)
  {
    if(portOne.isListening())
    {
      databuffer[index] = portOne.read();
      if (databuffer[0] != 'c') //si encuentra caracter 'c' es por que hay datos disponibles
      {
        index = -1;
      }
    }
    else
    {
      Serial.println("error");
      index--;
    }
  }
}

int transCharToInt(char *_buffer,int _start,int _stop) //convierte caracteres recibidos en enteros
{
  int _index;
  int result = 0;
  int num = _stop - _start + 1;
  int _temp[num];
  for (_index = _start; _index <= _stop; _index++)
  {
    _temp[_index - _start] = _buffer[_index] - '0';
    result = 10*result + _temp[_index - _start];
  }
}
```

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

```

//funciones para extraer cada una de las variables medidas disponibles
int WindDirection()                                //Wind Direction
{
    data[0]=transCharToInt(databuffer,1,3);
    return data[0];
}

float WindSpeedAverage()                          //air Speed [m/s] (1 minute)
{
    data[1] = 0.44704 * transCharToInt(databuffer,5,7);
    return data[1];
}

float WindSpeedMax()                              //Max air speed [m/s] (5 minutes)
{
    data[2] = 0.44704 * transCharToInt(databuffer,9,11);
    return data[2];
}

float Temperature()                              //Temperature ("C") [C]
{
    data[3] = (transCharToInt(databuffer,13,15) - 32.00) * 5.00 / 9.00;
    return data[3];
}

float RainfallOneHour()                          //Rainfall (1 hour)
{
    data[4] = transCharToInt(databuffer,17,19) * 25.40 * 0.01;
    return data[4];
}

float RainfallOneDay()                          //Rainfall (24 hours)
{
    data[5] = transCharToInt(databuffer,21,23) * 25.40 * 0.01;
    return data[5];
}

int Humidity()                                    //Humidity [%]
{
    data[6]=transCharToInt(databuffer,25,26);
    return data[6];
}

```

```

float BarPressure()                                     //Barometric Pressure [KPa]
{
    data[7] = transCharToInt(databuffer,28,32);
    return data[7] / 100.00;
}

void setup()
{
    // inicializa seriales: el serial one para comunicarse con tarjeta de estacion meteorologica el tradicional
    // para envio de datos a traves de i2c
    Serial.begin(9600);
    portOne.begin(9600);
}

void loop()
{
    portOne.listen(); // lectura de datos de tarjeta de estacion meteorologica
    getBuffer(); //llama la funcion de lectura
    Serial.print("Wind Direction: "); //imprime dato a dato y llama su funcion de captura
    Serial.print(WindDirection());
    Serial.println(" ");
    Serial.print("Average Wind Speed (One Minute): ");
    Serial.print(WindSpeedAverage());
    Serial.println("m/s ");
    Serial.print("Max Wind Speed (Five Minutes): ");
    Serial.print(WindSpeedMax());
    Serial.println("m/s");
    Serial.print("Rain Fall (One Hour): ");
    Serial.print(RainfallOneHour());
    Serial.println("mm ");
    Serial.print("Rain Fall (24 Hour): ");
    Serial.print(RainfallOneDay());
    Serial.println("mm");
    Serial.print("Temperature: ");
    Serial.print(Temperature());
    Serial.println("C ");
    Serial.print("Humidity: ");
    Serial.print(Humidity());
    Serial.println("% ");
    Serial.print("Barometric Pressure: ");
    Serial.print(BarPressure());
    Serial.println("hPa");
    Serial.println("");
}

```

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

```

Wire.begin(SLAVE_ADDRESS); //inicializa comunicaci3n i2c
// envía datos procesados cuando el maestro lo requiera mediante la funci3n sendata
Wire.onRequest(sendData);
}
void sendData(){ #envia el arreglo de datos
Wire.write((byte*) &data , FLOATS_SENT*sizeof(float));}

```

### 6.3 C3digo esclavo2 Arduino

```

volatile int pulsos;
unsigned int litrosPorHora; // Calculated litres/hour
unsigned char sensorDeFlujo = 2; // Pin al que est3 conectado el sensor
unsigned long tiempoAnterior; // Para calcular el tiempo
unsigned long pulsosAcumulados; // Pulsos acumulados
float litros=0; // Litros acumulados
void flujo () // Funcion de interrupcion
{pulsos++;} // suma el n3mero de pulsos
void setup()
{
pinMode(sensorDeFlujo, INPUT);
pinMode(4,OUTPUT);
Serial.begin(9600);
attachInterrupt(0, flujo, RISING); // declara interrupci3ns
interrupts(); // Habilitar interrupciones
}
void loop () {
pulsosAcumulados += pulsos; //cada que hay flujo de agua acumula su valor
pulsos = 0; // limpia la lectura
litros = pulsosAcumulados*1.0/444; // para tuberia de media pulgada seg3n fabricante
if(Serial.available()) { #espera que el maestro solicite por medio de comunicaci3n serial
char c = Serial.read();
if (c=='P') { #petici3n de lectura de litros para el control on/off
Serial.println(litros); }
if (c=='R') { #limpia datos
pulsos=0;
litros=0.01;
pulsosAcumulados=0.01;
}
}
}
}

```

#### 6.4 Procedimiento “scraping” para captura de radiación

Debido a la imposibilidad de compra de un sensor de radiación solar neta, se implementó la alternativa de consultar la página web del IDEAM donde actualiza cada minuto algunas variables meteorológicas importantes del aeropuerto Jose María Córdoba y extraer dicho dato automáticamente cada hora e insertarlo en nuestra base de datos con métodos proporcionados por el lenguaje de programación Python como bs4 para recorrer las páginas web y extraer datos y Py MySQL para realizar el registro.

```
# -- coding: utf-8 --
#commit nnumero 2

from bs4 import BeautifulSoup
import requests
import time
import pymysql as db
import pymysql.cursors
from datetime import datetime

URL_BASE = "http://tausa.ideam.gov.co/EstacionAero21/faces/SinopticaAu.jsp?id=0023085270"
url = URL_BASE
print url
variable=[]
while True:
    try:
        # Realizamos la petición a la web
        req = requests.get(url)

    except:
        print"no responde "
        continue
        # Comprobamos que la petición nos devuelve un Status Code = 200
    statusCode = req.status_code
    print statusCode
    if statusCode == 200:
        print "entro 200 status"
```

```

try:
    # Pasamos el contenido HTML de la web a un objeto BeautifulSoup()
    html = BeautifulSoup(req.text, "html.parser")

    # Obtenemos todos los divs donde estan las entradas
    entradas = html.find_all('input', {'type':'text'})

    # Recorremos todas las entradas para extraer los valores de lo campos tipo input para
    encontrar el deseado
    for entrada in entradas:
        variable.append(entrada['name'] + ' ' + entrada.get('value'))

    # Imprimo el nombre del campo y el valor
    #print " %s " % (variable).encode('utf-8')

    pos,rad=variable[-2].split(" ")
    # Connect to the database
    connection = pymysql.connect(host='74.208.244.104',
                                user='viveroremoto',
                                password='Vivero2018',
                                db='vivero',
                                charset='utf8mb4',
                                cursorclass=pymysql.cursors.DictCursor)

    try:
        with connection.cursor() as cursor:
            # Create a new record
            sql = "INSERT INTO `vivero_radiacion` (`fecha`,`valor`) VALUES (%s,%s)"

            cursor.execute(sql,(datetime.now(),rad))

            # connection is not autocommit by default. So you must commit to save
            # your changes.
            connection.commit()

        finally:
            connection.close()

        time.sleep(60)

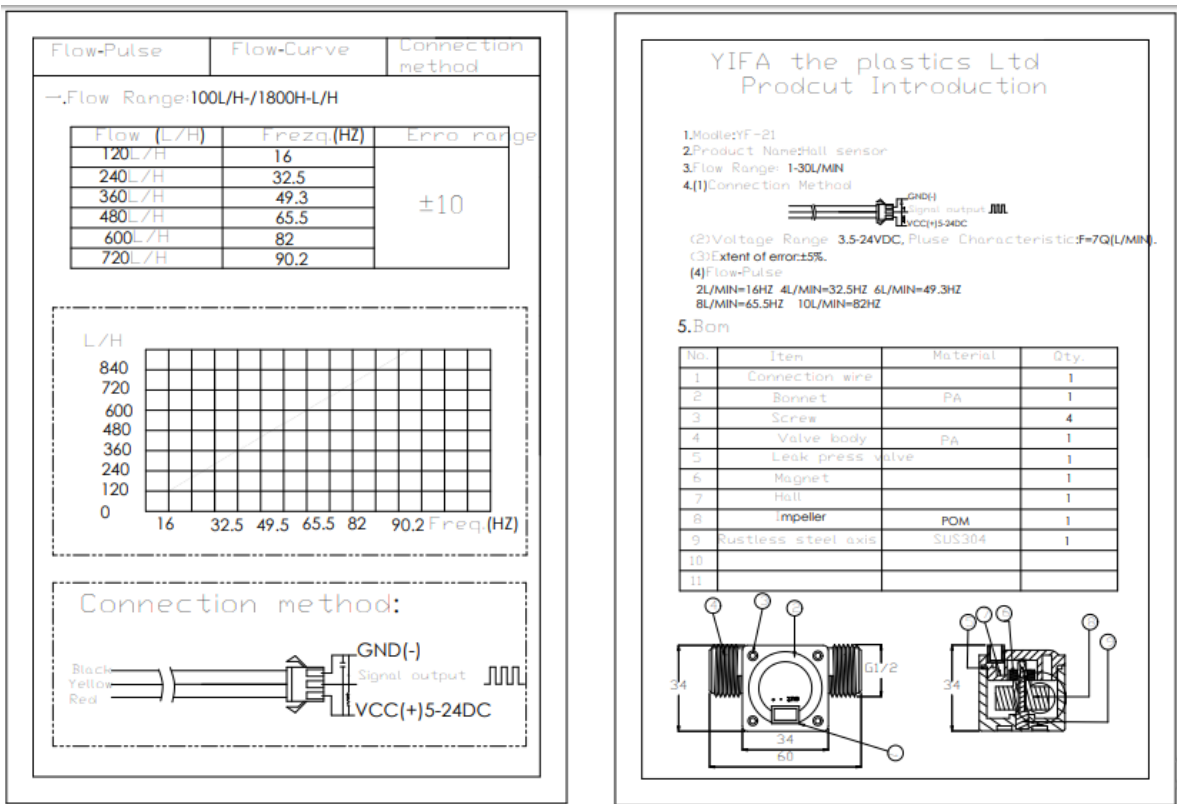
    except:
        print "error en conexion"
        continue

    else:
        # Si ya no existe la página y me da un 400
        print statusCode
        continue

```

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

6.5 Hoja de datos de sensor de flujo.



## 6.6 DIAGRAMAS ARQUITECTURA DE HARDWARE Y CONEXIONE

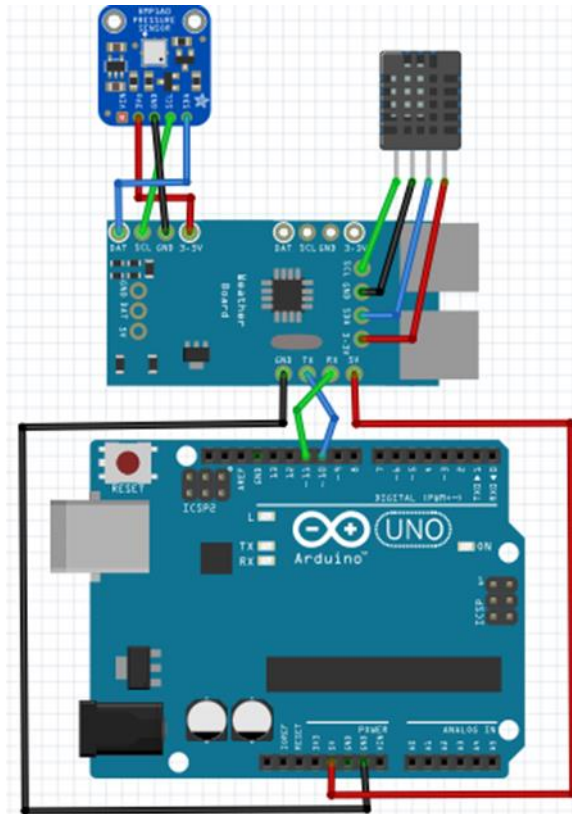


Ilustración 63 Arquitectura de hardware esclavo1

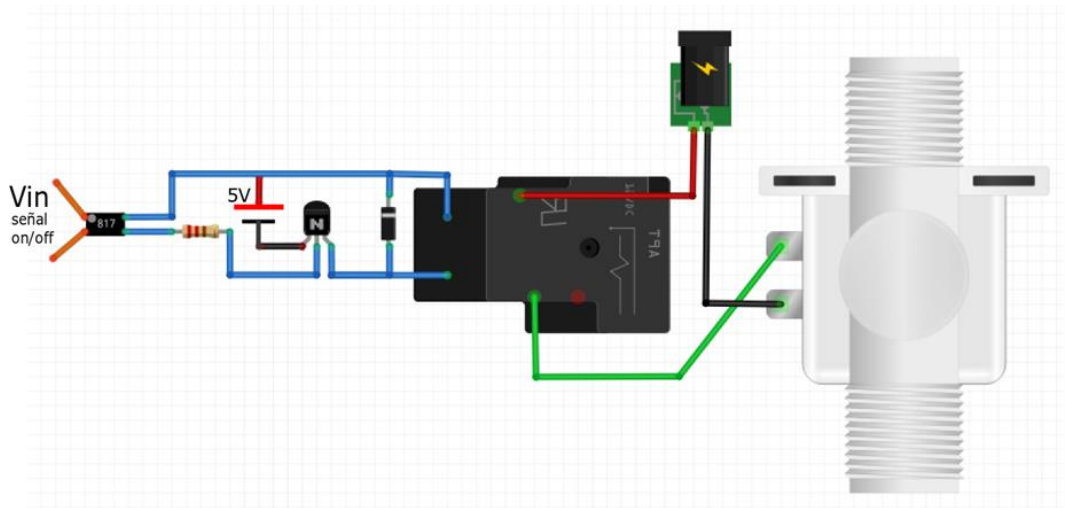
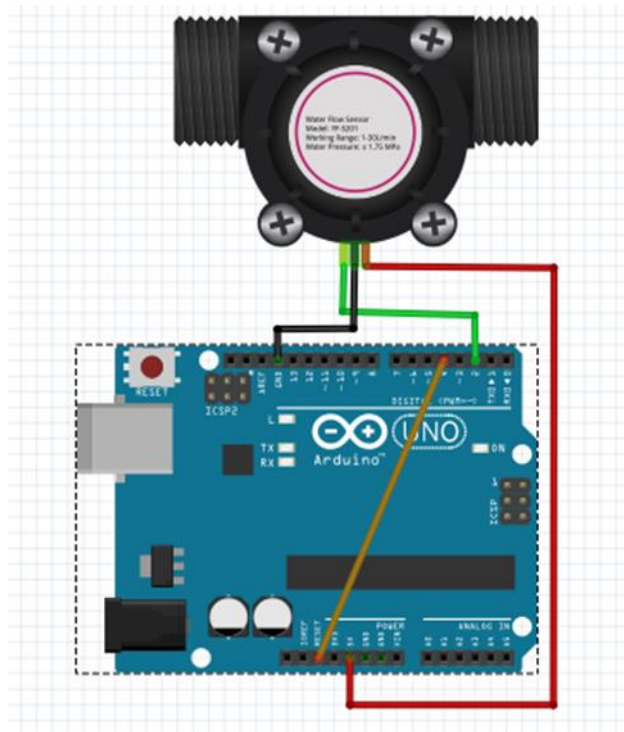


Ilustración 62 Arquitectura de Hardware tarjeta tipo rele optoacoplada y valvula ON-OFF

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.





*Ilustración 64 Arquitectura de hardware esclavo2*

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

## 6.7 ILUSTRACIÓN GENERAL DEL PROYECTO: LENGUAJES, FRAMEWORKS Y COMUNICACIONES

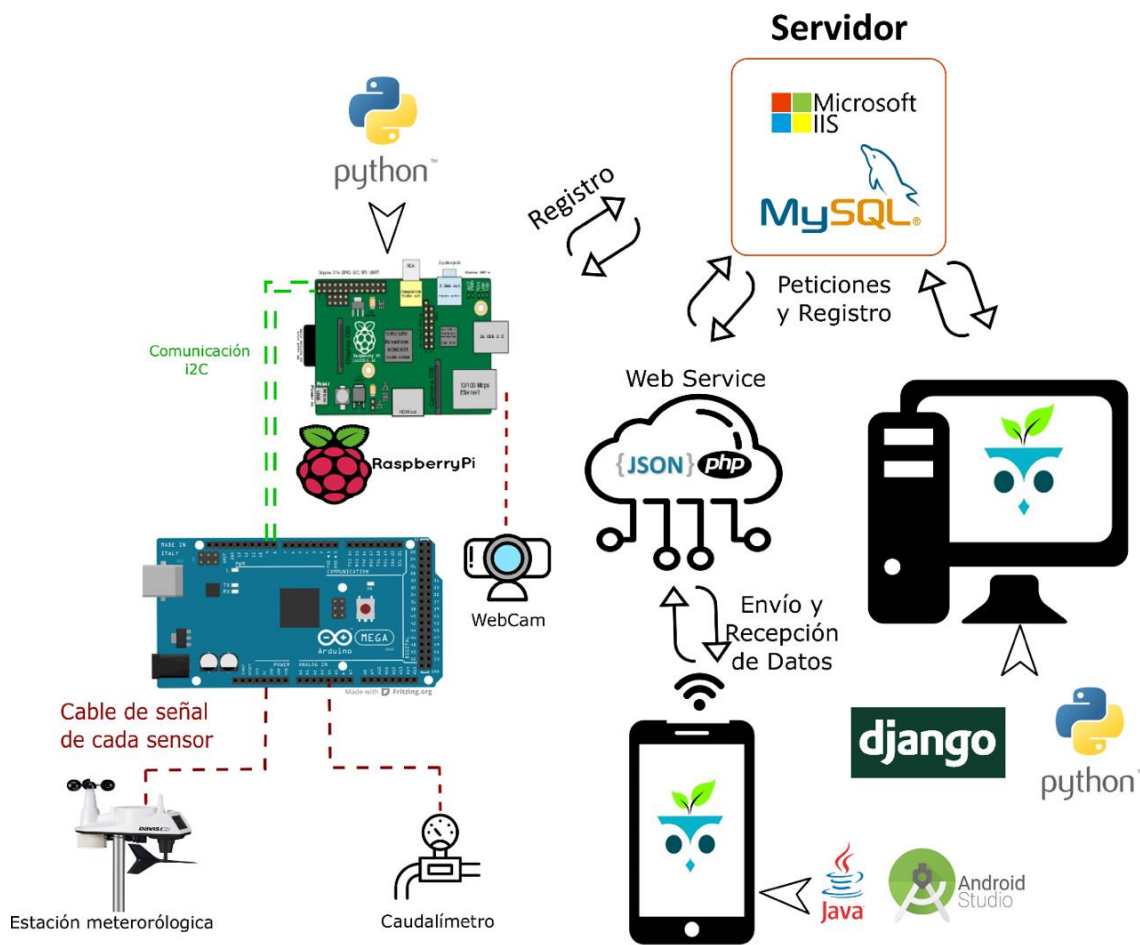


Ilustración 65 Diagrama general detallado del proyecto

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.